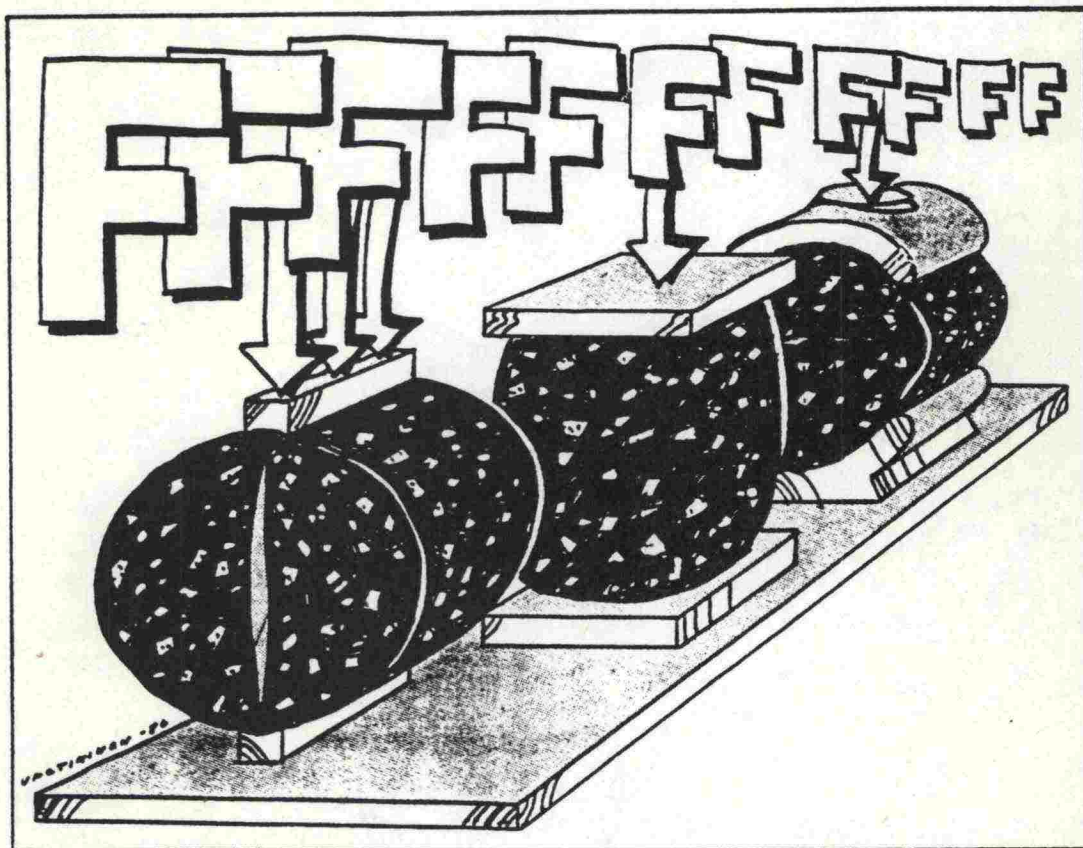


TIE- JA VESIRAKENNUSHALLITUS
rakennusosasto

ASFALTTIBETONIN JA ÖLJYSORAN LABORATORIOSUHTEITUS



— ötn —
INSINÖÖRITOIMISTO
ÖLJYTUOTENEUVONTA

HELSINKI 1986

08
NH.



87 777

TIIVISTELMÄ

Tämä raportti on toinen osa työstä, jonka tavoitteena on TVL:n laboratoriotöimintöjen kehittäminen bitumisia sideaineita ja asfalttipäällysteitä koskevien tehtävien osalta.

TVH:n laboratoriossa tapahtuvan suhteitustoiminnan tavoitteiksi on määritelty hankkia sellaiset laiteresurssit ja tiedolliset resurssit, että laboratorio pystyy suorittamaan asfalttibetonin ja öljysoran suhteitukset sekä pystyy kehittämään TVL:n piirissä tapahtuvaa suhteitustoimintaa.

Suhteitus on päällysteen suunnittelua, jolla pyritään varmistamaan teknisesti ja taloudellisesti paras mahdollinen koostumus. Suhteituksella valitaan asfalttimassalle käyttökohteen vaatimusten perusteella

- kiviaineksen rakeisuus ja lujuus
- täytejauheen määrä ja laatu
- sideaineen määrä ja laji
- mahdollisesti tarvittavan lisäaineen määrä ja laji.

Suhteituksella varmistetaan, että asfalttipäällysteellä on käyttökohteeseen sopiva jäykkyys (kantavuus ja pakkaskestävyys) sekä riittävä väsymis-, kulutus-, deformaatio- ja vedenkestävyys. Optimisideainepitoisuuden määrittäminen on vain osa suhteitusta.

Analyttisessä suhteituksessa etsitään sopiva koostumus vertaamalla päällystemassan ominaisuuksia käyttökohteen vaatimuksiin. Analyttinen suhteitus edellyttää vaihtoehtojen kestävyysominaisuuksien määrittämistä ja samalla tekee mahdolliseksi tapauskohtaisen optimoinnin.

TVL:ssä perustuu suhteitus nykyisin pääasiassa ohjeiden käyttöön, ts. kokemuksen perusteella on valittu joukko päällystetyppejä, joiden raaka-aineet ja koostumus määrätään normeissa.

Päällysteen raaka-aineiden ja koostumuksen vaikutusta päällysteen kestävyysominaisuuksiin käsitellään työssä nykyisen tietomme perusteella. Eri tutkimusten ja eri koeteillä saatujen tulosten välillä on ristiriitaisuuksia. Eri Pohjoismaissa saatujen käytännön kokemusten

perusteella on eroja esim. maksimiraekoon ja tyhjätilan merkityksen suhteen.

Työssä esitellään yleisimmin käytetyt suhteitusmenetelmät. Käytännön suhteitustoiminnassa käytetään nykyisin eniten puoliteoreettisia menetelmiä, joissa yhdistetään koekappaleiden laskennollisten ja mitattujen ominaisuuksien vertailu kokemukseen perustuvaan tietoon.

Tieto asfalttimassan koostumuksen merkityksestä päällysteen kestävyydelle on lisääntynyt suuresti viimeisen kymmenen vuoden aikana. Asfalttipäällystenn ominaisuuksien tutkimisen myötä on löydetty kokeellisia yhteyksiä päällysteen mekaanisten ominaisuuksien ja koostumuksen välille. Niinpä asfalttimassan jäykkyys ja väsymislujuus voidaan arvioida käytännön tarpeita varten riittävän tarkasti koostumuksen perusteella. Kulutuskestävyys, deformaatiokestävyys ja vedenkestävyys on sen sijaan varmistettava kokeellisesti.

Työssä annetaan ehdotus TVH:n laboratoriossa käytettäväksi suhteitusmenetelmäksi ja suhteitusvaatimuksiksi. Suhteitusvaatimukset on tarkoitettu lähtökohdaksi, jota korjataan käytännöstä saadun palautteen perusteella.

SISÄLLYSLUETTELO

i	Tiivistelmä	SIVU
1.	Johdanto.....	1
2.	TVH:n laboratoriossa suoritettavan suhteitustoiminnan tavoitteet.....	3
3.	Suhteituksen tarkoitus.....	4
4.	Suhteitusmuuttujien merkitys.....	6
4.1	Päällystemassan tilavuussuhteet	6
4.2	Suhteitus kulutuskestävyyden kannalta.....	7
4.3	Suhteitus deformaation kannalta	13
4.4	Suhteitus väsymislujuuden kannalta.....	18
4.5	Suhteitus vedenkestävyyden kannalta.....	18
4.6	Suhteitus päällysteen säänkestävyyden kannalta.....	20
4.7	Asfalttimassan työstettävyyden huomioonottaminen.....	20
5.	Suhteitusmenetelmät.....	21
5.1	Asfalttibetonin suhteitusmenetelmät.....	23
5.2	Epäjatkuvan asfalttibetonin suhteitusmenetelmät.....	25
5.3	Vettäläpäisevän asfalttibetonin suhteitusmenetelmä.....	25
6.	Ehdotus suhteitusmenetelmäksi ja suhteitusvaatimuksiksi.....	27
6.1	Yleiskuvaus.....	27
6.11	Asfalttibetoni.....	27
6.12	Öljysora.....	27

(sis.luettelo jatkoa)

	Sivu
6.2	ASfalttibetonin suhteitus..... 28
6.21	Kiviaineksen suhteitus..... 28
6.22	Koekappaleiden valmistus..... 28
6.23	Kiinto- ja irtotiheyden määrittäminen 28
6.24	Stabiliteetin ja kokoonpuristuman määrittäminen..... 29
6.25	Tyhjätilan laskeminen..... 29
6.26	Kiviaineksen tyhjätilan ja täytöstöasteen laskeminen..... 29
6.27	Kulutuskestävyyden tarkistus.... 29
6.28	Deformaatiokestävyyden tarkistus 30
6.29	Vedenkestävyyden tarkistus..... 30
6.30	Optimikoostumus..... 30
6.3	Öljysoran suhteitus..... 34
6.31	Kiviaineksen tyhjätilan määrittäminen 34
6.32	Sideainepitoisuuden valinta..... 34
6.33	Vedenkestävyyden tarkistus..... 34
7.	Kirjallisuusluettelo..... 36
8.	Liitteet 39
liite 1	Suhteitus-esimerkki..... 39
liite 2	Tanskan suhteitusvaatimukset..... 54
liite 3	Norjan suhteitusvaatimukset..... 55
liite 4	Ruotsin suhteitusvaatimukset..... 56
liite 5	Epäjatkuvan asfalttibetonin suhteitusvaatimukset, Englanti..... 57
liite 6	The Asphalt Institututen suosittelamat suhteitusvaatimukset..... 58

1. JOHDANTO

Suhteitus on päällysteen teknistä suunnittelua. Suunnittelulla saadaan päällyste kestäväksi käyttökohteen rasituksia mahdollisimman hyvin. Samalla pyritään saamaan päällysteen valmistus mahdollisimman edulliseksi. Suhteitus on päällysteen teknillistaloudellista suunnittelua.

Suhteitus voi perustua normitettujen ohjearvojen käyttöön tai analyttiseen suunnitteluun. Ohjearvot perustuvat käytännön kokemuksiin. On todettu, että tämän tyyppinen koostumus yleensä kestää ja ko. koostumus on sitten hallinnollisella määräyksellä asetettu normiksi.

Analyttinen suhteitus on erilaisten koostumusten antamien ominaisuuksien vertailua käyttökohteen vaatimuksiin. Koostumus, joka parhaiten vastaa vaatimuksia, otetaan käyttöön ko. päällystyskohteessa. Analyttinen suhteitus edellyttää laboratoriossa tapahtuvaa koekappaleiden koostumuksen tutkimusta ja lujuusominaisuuksien määrittämistä.

Kummallakin tavalla on omat hyvät ja huonot puolensa. Ohjearvojen käyttö suhteituksessa on nopeaa ja vähän työtä vaativaa. Se sopii hyvin ja antaa yleensä hyviä tuloksia, kun raaka-aineet ja olosuhteet eivät paljon vaihtele ja kun lopullinen, koemassojen avulla tapahtuva hienosäätö on kokeneissa käsissä. Ohjearvojen käyttö ei kuitenkaan ota huomioon raaka-aineissa tapahtuvaa jatkuvaa vaihtelua eikä salli tapauskohtaisista optimointia. Ohjearvot eivät ehdi mukaan olosuhteiden systemaattisesti muuttuessa.

Analyttinen suhteitus lähtee tapauskohtaisesta arvioinnista, joten optimointi on mahdollista. Analyttisellä suhteituksella saatava koostumus ei laahaa jäljessä, kun olosuhteet, rasitukset, komponenttien ominaisuudet tai kustannustekijät muuttuvat. Päällysteen koostumus vastaa varmemmin käyttökohteen vaatimuksia. Tämä tietenkin edellyttää, että tunnetaan päällysteseen kohdistuvat mekanismit ja vastaavat päällysteen lujuusominaisuudet ja nämä osataan määrittää. Uudet päällysteen raaka-aineet edellyttävät analyttistä suhteitusta eihän aikaisempia kokemuksia ole olemassa.

Suhteitus, asfalttipäällysteen koostumuksen suunnittelu on osa päällysrakenteen suunnitteluprosessia. Päällysrakenteen teknillistaloudellinen suunnittelu ei tapahdu vain vertailemalla vain muutamaa normitettua päällystetyyppiä. Päällysrakenteen suunnittelussa voidaan tehdä teknillistaloudellinen optimointi myös päällystetypin sisällä elastisen ja viskoosisen jäykkyyden sekä

väsymislujuuden, kulutuskestävyyden ja tiivistettävyyden suhteen. Tämä edellyttää koostumuksen vaihtelun antamien mahdollisuuksien vertailua ts. analyttistä suhteitusta. Päällystemassan analyttinen suhteitus on PMS-järjestelmän oleellinen osa.

Suhteitus perustuu nykyisin TVL:n piirissä pääasiassa normitettujen ohjearvojen käyttöön. TVH:n laboratorio suorittaa vuosittain muutamia optimisideainepitoisuuden määrityksiä. Tämä tapahtuu alkuperäisen Marshall-suhteituksen perusteella.

Tässä raportissa annetaan yleiskuva suhteituksesta ja sen nykyisistä käyttötavoista sekä annetaan ehdotus TVH:n laboratorion suhteituskäytännöksi ja suhteitusvaatimuksiksi asfalttibetonille ja öljysoralle.

Ehdotus suhteituskäytännöksi perustuu tiivistetyn asfalttimassan tilavuussuhteiden perusteella tapahtuvaan käyttökelpoisuusarviointiin, johon liittyy mekaanisen lujuuden määrittäminen. Kulutuskestävyyden, deformaatiokestävyyden ja vedenkestävyyden tarkistaminen tapahtuu koestamalla. Vaatimuserät perustuvat tutkimustuloksiin asfalttimassan koostumuksen vaikutuksesta päällysteen kestävyys- sekä muissa maissa käytettyihin vaatimuksiin, jotka on sovellettu olosuhteisiimme ennen kaikkea kulutuskestävyyttä ja lajittumavaurioita ajatellen.

Ehdotetut suhteitusvaatimukset eivät varmaankaan ole parhaat mahdolliset mm. siitä syystä, että Suomessa ei ole systemaattisesti selvitetty suhteitusvaatimuksia. Ehdotus on tarkoitettu lähtökohdaksi, jota korjataan käytännöstä saadun palautteen perusteella. Keskeistä on, että päällystemassan analyttinen suhteitus saadaa käyntiin asiantuntemuksen ja kokemuksen hankkimiseksi.

Tämä raportti on toinen osa työstä, jonka tavoitteena on TVL:n laboratoriotöiden kehittäminen bitumisia sideaineita ja asfalttipäällysteitä koskevien tehtävien osalta. Työtä on johtanut seurantaryhmä, johon ovat kuuluneet geologi Martti Eerola ja kemisti Eeva Solin.

2. TVH:N LABORATORIOSSA TAPAHTUVAN SUHTEITUSTOIMINNAN
KEHITTÄMISTAVOITTEET

Laboratorio hankkii sellaiset laiteresurssit ja tiedolliset resurssit, että

- laboratorio pystyy suorittamaan asfaltti-
päällysteen ja öljysoran suhteitukset tavallisimpia menetelmiä käyttäen
- laboratorio pystyy seuraamaan ja soveltamaan päällysteiden suhteituksessa tapahtuvaa kehitystä
- laboratorio pystyy kehittämään ja ohjaamaan piirien laboratorioissa tapahtuvaa suhteitustoimintaa.

3. SUHTEITUKSEN TARKOITUS

Asfalttipäällysteen suhteituksella valitaan päällysteelle käyttökohteen vaatimusten perusteella tarkoituksenmukaisin koostumus seuraavien ominaisuuksien suhteen:

- jäykkyys normaalissa ja alhaisessa lämpötilassa, ts. kantavuus ja pakkashalkeamaherkkyys
- jäykkyys korkeassa lämpötilassa, ts. deformaatiokestävyys
- kulutuskestävyys nastojen vaikutusta vastaan
- säänkestävyys, ts. ominaisuuksien säilyminen ilmaston ja ajan vaikutuksen alaisena
- levitettävyyden ja tiivistettävyyden
- vedenkestävyys, ts. päällysteen lujuuden säilyminen veden vaikutuksen alaisena.

Suhteitusta käytetään myös materiaalien etukäteistarkistukseen. Suhteituskäytäntöä noudattaen tehdään uudesta raaka-aineesta asfalttimassaa ja tarkistetaan syntyykö aiottuun käyttökohteeseen sopivaa tuotetta. Tätä menettelyä käytetään varsinkin uuden kiviaineslähteen sopivuuden tutkimiseen.

Käytännössä päällysteen laboratoriosuhteitus on usein optimisideainepitoisuuden selvittämistä. Päällystemassan kiviaines, rakeisuus ja lujuusominaisuudet on valittu jo aikaisemmin.

Optimisideainepitoisuutta määritettäessä on tulosten perusteella aina tarkasteltava oliko kiviaines valittu oikein, saadaanko siitä syntymään vaatimusten mukaista päällystettä. Jos aiotulla kiviaineksella tai bitumilaadulla ei saada toivottua tulosta, vaihdetaan joko kivaines tai bitumi tai molemmat. Joskus joudutaan käyttämään lisäaineita, tartuketta tai polymeerejä riittävän tarttuvuuden, jäykkyyden tai joustavuuden saavuttamiseksi.

Suhteituksella valitaan asfalttimassaan sopiva

- | | |
|---|---|
| A | kiviaines <ul style="list-style-type: none">- rakeisuus: käyrämuoto ja maksimiraekoko- lujuusominaisuudet- raemuoto- rakeiden pintarakenne |
| B | sideaine <ul style="list-style-type: none">- kovuusluokka- laatuominaisuudet- pitoisuus |

- C täytejauhe
 - pitoisuus
 - laatu
- D lisäaineet
 - tarpeellisuus
 - tyyppi ja pitoisuus

Laajimmassa tapauksessa suhteituksella määrätään kaikki ne komponentit ja komponenttien ominaisuudet, joista päällyste koostuu. Kun lisäksi suhteituksessa vielä periaatteessa päätetään miten tiiviiksi päällystemassa on tiivistettävä, niin päällysteen kestävyys riippuu täysin suhteituksen onnistumisesta.

Suhteituksella on suuri taloudellinen merkitys. Siinä päätetään päällysteen kalleimman komponentin, bitumin pitoisuus. Analyttisessä suhteituksessa optimoidaan kohteittain päällystemassan koostumus, uusrakenteissa optimoidaan koostumus ja päällystekerroksen paksuus.

Suomessa valtaosa päällystämistä on kunnossapitoa, uusia kerroksia entisten vaurioituneiden tilalle. Päällystemassojen suhteituksen tavoitteen painopiste on siten kulutuskestävyyden, deformaatiokestävyyden ja kustannusten optimointi. Hyvä kulutuskestävyys on ollut päällystemassojen tärkein ominaisuus.

Ilmeistä on, että deformaatiokestävyyteen tulee kiinnittää aikaisempaa enemmän huomiota. Deformaatorisakit ovat lisääntyneet akselipainojen ja kokonaiskuorman sekä rengaspaineen kasvaessa. Deformaatiota aiheuttava rasitus ei ole ainoastaan kulutuserroksen ongelma. Deformaatiota aiheuttava rasitus on suurimmillaan 4-6 cm:n syvyydessä. Deformaatiolle altis päällyste voi aiheuttaa ongelmia vielä senkin jälkeen, kun se on peitetty uudella päällystekerroksella.

Kiviaineslähteen käyttökelpoisuuden tarkistamiseen etukäteen tulee ilmeisesti myös kiinnittää entistä enemmän huomiota. On tarkoituksenmukaisempaa tutkia sopivuus etukäteen kuin hyväksyä vaihtoehdon puuttuessa käyttöön heikkolaatuinen kiviaines. Suhteitusmenettelyä käyttäen voidaan sekä todeta heikkoudet että etsiä keinoja käyttökelpoisuuden parantamiseen.

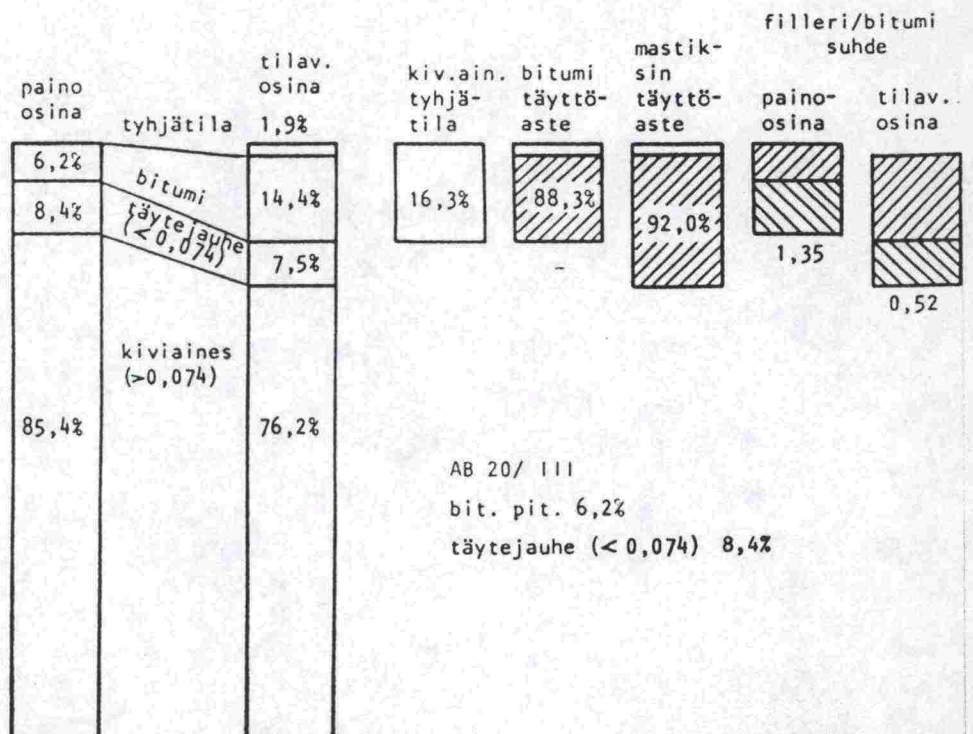
4. SUHTEITUSMUUTTUJIEN MERKITYS

Asfalttipäällysteen koostumuksen ja komponenttien ominaisuuksien merkitystä päällysteen kestävyydelle on laajasti käsitelty kirjallisuusviitteissä 1-4. Kaksi ensimmäistä ovat PTL:n piirissä syntyneitä selvityksiä, joten niissä on erityisesti tullut otetuksi huomioon pohjoismaiset olosuhteet. Kirjallisuusviitteessä 1 annetaan tiivistelmä eri Pohjoismaissa käytössä olevista suhteitusvaatimuksista. Seuraavassa esitetään eräitä selittäviä ja täydentäviä kommentteja edellä mainituissa yleiskatsauksissa esitettyyn.

4.1 Päällystemassan tilavuussuhteet

Päällysteen lujuus, kestävyys erilaisissa rasituksissa riippuu komponenttien ominaisuuksien lisäksi niiden keskinäisistä suhteista tiivistetyssä päällystemassassa. Komponenttien suhteet ovat joskus vaikuttavampi tekijä kuin komponenttien ominaisuudet. Ratkaisevaa päällysteen ominaisuuksille on tilavuussuhteet, ei niinkään painosuhteet. Tilavuus- ja painosuhteiden erot käyvät ilmi kuvasta 4.1.

KUVA 4.1 Päällysteen komponenttien tilavuus- ja painosuhteet (34)



Huomattava on, että primääristä päällysteen ominaisuuksille on sideaineen ominaisuuksien ohella asfalttimsan kiviaineksen rakeiden väliin jäävä tyhjätila nk. kiviaineksen tyhjätila ja se kuinka paljon sideaine täyttää tästä eli täyttöaste. Kiviaineksen tyhjätila riippuu kiviaineksen rakeisuudesta ja pintaominaisuuksista sekä bitumipitoisuudesta ja tiivistystyöstä. Kiviaineksen tyhjätila voidaan tarkasti määrittää vain tiivistetystä päällysteestä so. porakappaleesta tai Marshall- koekappaleesta.

Päällysteen tyhjätila on seurausta kiviaineksen tyhjätilasta ja täyttöasteesta ja on siten toissijainen tilavuussuhteiden ilmaisin. Bitumipitoisuus ilmaistaan painoprosentteina päällystemassasta eikä se anna vertailukelpoista kuvaa tilavuussuhteista.

4.2 Suhteitus kulutuskestävyyden kannalta

Päällysteen kulutuskestävyys riippuu (1)

- kiviaineksen lujuudesta
- maksimiraekoosta ja karkeiden rakeiden määrästä
- mastiksin kulutuskestävyydestä ja tarttuvuudesta
- tiivistystyöstä ja tyhjätilasta
- työsuorituksen onnistumisesta, mm. lajittumavirheistä

Kiviaineksen lujuusominaisuudet ovat kulutuskestävyyden kannalta tärkeimmät kiviaineksen ominaisuudet. Kivien kuluminen tapahtuu sekä isku- että raapimismekanismeilla. Kulutusta kestäväällä kiviaineksella tulee olla hyvä isku- ja hioutumislujuus. Parhaiten on kulutuskestävyyttä todettu kuvaavan parametri, joka on haurausarvon ja hioutuvuusluvun tulon funktio (1)

$$S_k = H_a^a \times H_i^b \quad \text{jossa}$$

S_k on kiviaineksen kulutuskestävyyttä kuvaava parametri

H_a on haurausarvo

H_i on hioutuvuusluku

a ja b ovat kertoimia

Paras korrelaatio on saatu koeradoilla parametrillä, jossa kertoimet a ja b ovat vaihdelleet välillä 0,5 - 1. Norjassa on todettu tiekulumiin perusteella parametrin olevan muotoa $H_a^{0,5} \times H_i$.

Sekä teoreettisesti että koetulosten perusteella on ilmeistä, että kertoimien arvot riippuvat kulutusta-
pahtumasta. Kun parametri $H_a \times H_i$ (a ja $b = 1$) on kai-
kissa tapauksissa antanut varsin hyviä korrelaatiota,
voitaneen parametriä $H_a \times H_i$ käyttää kiviaineksen ku-
lutuskestävyyden mittana.

Maksimiraekoon suurentaminen aina 16 - 18 mm:in lisää
suuresti päällysteen kulutuskestävyyttä. Tulokset ko-
keista, joissa raekoko on ollut vielä suurempi ovat
ristiriitaisia. VTT:n koeradalla saadut tulokset (28)
osoittavat, että kulutuskestävyys paranee oleellisesti
vielä, kun maksimiraekoko kasvaa yli 18 mm:n. Neste-
koeradalla saaduissa tuloksissa ei vähentävää vaikutus-
ta havaittu yli 16 mm:n maksimiraekoolla (29). Aikai-
sempien koetietulosten perusteella ei voida tehdä sel-
vää johtopäätöstä (30). Syynä tähän voi olla se, että
yli 16 mm:n raekoolla tehtyjen päällysteiden lajittu-
minen on vaikuttanut kulumistuloksiin.

Ennakkotiedot maksimiraekoon vaikutusta selvittävän
koetien (v. 1984) tuloksista viittaavat siihen, että
kuluminen ei juuri enää vähene, jos maksimiraekoko noste-
taan yli 16 mm:n. Ruotsissa on siirrytty käyttämään
16 mm:n massoja eikä kulumisen ole todettu lisääntyvän.
Norjassa katsotaan, että raekoon alentaminen 20 mm:sta
16 mm:in lisää kyllä kulumista, mutta lajittumavir-
heiden väheneminen kompensoi kulumisen lisääntymistä.

Liuskeisuuden ja puikkoisuuden lisääntyminen vähentää
kulumista, jos kiviaines muutoin on lujaa. Tämän on
selitetty johtuvan siitä, että liuskeisuus ja puikkoi-
suus lisää kiviainespintaa päällysteessä, kun tällai-
set rakeen pyrkivät asettumaan pitkälleen.

Asfalttimassan koostumuksen tulee olla mahdollisimman
tiivis (tavallinen AB) ja ennen kaikkea tiivistetty niin
hyvin kuin mahdollista. Bitumipitoisuuden tulee olla
mahdollisimman suuri. Kuitenkin, kun tyhjätila tulee
hyvin pieneksi, alkaa kuluminen lisääntyä. VTT:n koe-
ratatulosten mukaan kuluminen pienenee tyhjätilan pie-
nentyessä ainakin tyhjätilaan 1 til-% saakka. Sama on
tilanne koetietulosten suhteen. Neste-koeratatulosten
mukaan kuluminen alkoi lisääntyä, kun tyhjätila
laski alle 2,5 til-%. Norjalaisen koetutkimuksen mu-
kaan alle 4,5 til-% oleva tyhjätila ei enää vaikuta
kulumisnopeuteen (31).

Tyhjätila, joka on optimi kulumisen kannalta riippuu
päällystetyypistä, lämpötilasta ja kulumistapahtumasta
(30). Ilmeiseltä näyttää, että kulumisen kannalta on
edullisinta suhteittaa päällyste jonkin verran tiiviim-
mäksi kuin mikä olisi lujuuden kannalta optimi. Näin
myös siksi, että kulutuskerroksissa käytetään massoja,
jotka lajittuvat herkästi. Lajittumavirheiden korjaus-
ajankohta siirtyy tuonemmaksi, kun sideainepitoisuus
on suhteellisen korkea. Deformaation kannalta tämä
taas on epäedullista.

Voidaan jopa hyvällä syyllä väittää, että lajittumavirheiden takia on päällysteet suhteitettava niin bitumirikkaiksi, että sekä kulumiskestävyys että deformaatiokestävyys eivät ole parhaat mahdolliset.

Sideainepitoisuus - p-% massasta - on massakohtainen suure eikä sitä siten voida käyttää yleisenä laatuindikaattorina kulumisen suhteen.

Bitumin kovuuden lisääntymisen on useimmissa tutkimuksissa todettu vähentävän kulumista. Kovimpien bitumilajien B 65 ja B 45 käyttö kuitenkin lisää kulumista.

Nurmijärven ja Mäntsälän koeteiden tulosten mukaan kuluminen joko ei muutu tai vähenee hieman, kun bitukmin kovuus lisääntyy B 250:stä B 80:een. Bitumeilla B 65 ja B 45 on kuluminen ollut selvästi suurempaa kuin näitä pehmeämmillä bitumeilla.

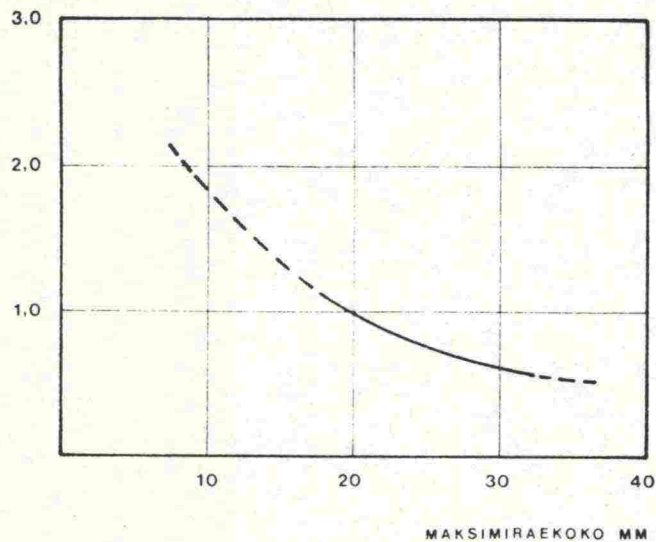
Bitumin kovuusluokan vaikutus on pieni verrattuna esim. kiviaineksen lujuuden vaikutukseen. Bitumin kovuusluokka voidaan valita muilla perusteilla kuin kulutuskestävyys ainakin välillä B 180 - B 80.

Kiviaineskäyrä vaikuttaa siten kulutuskestävyyteen, että mitä enemmän päällystemassa sisältää karkeata kiviainesta sitä kulutuskestävämpää on päällyste edellyttäen, että kivet vielä pysyvät kiinni ja massa muutoin on riittävän lujaa.

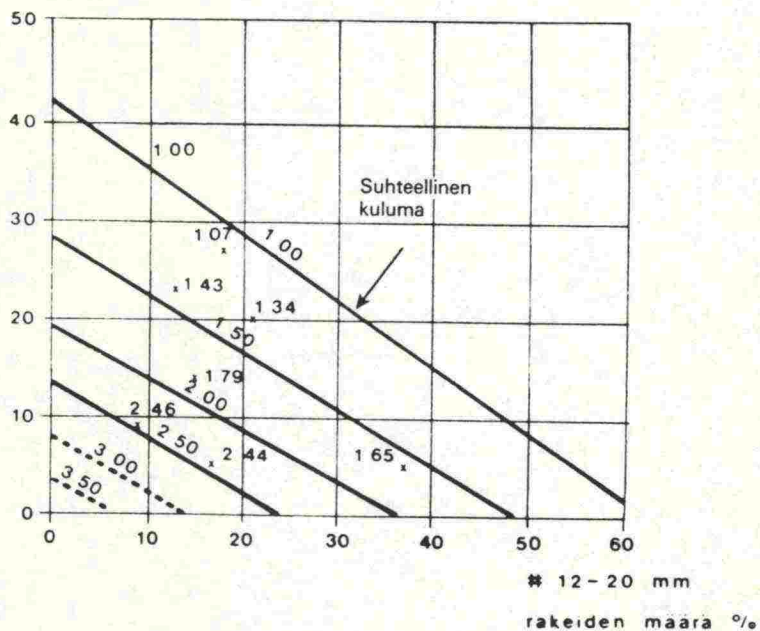
Päällysteen kulutuskestävyyttä kulutuskestävyyttä ei voida yleensä riittävän tarkasti arvioida komponenttien ominaisuuksien tai massan koostumuksen perusteella. Tästä syystä tulee suhteituksen yhteydessä tarkistaa kulutuskestävyys aina, kun otetaan käyttöön uusia raaka-aineita tai massan koostumus poikkeaa aikaisemmasta.

Kuvassa 4.1 on esitetty nykyisissä suunnitteluohjeissa annettu kiviaineksen rakeisuuden vaikutus päällysteen kulutuskestävyydelle. Kuvissa 4.2 ja 4.3 on eräissä tutkimuksissa saatuja tuloksia koostumuksen ja kiviainestekijöiden vaikutuksesta kulutuskestävyyteen.

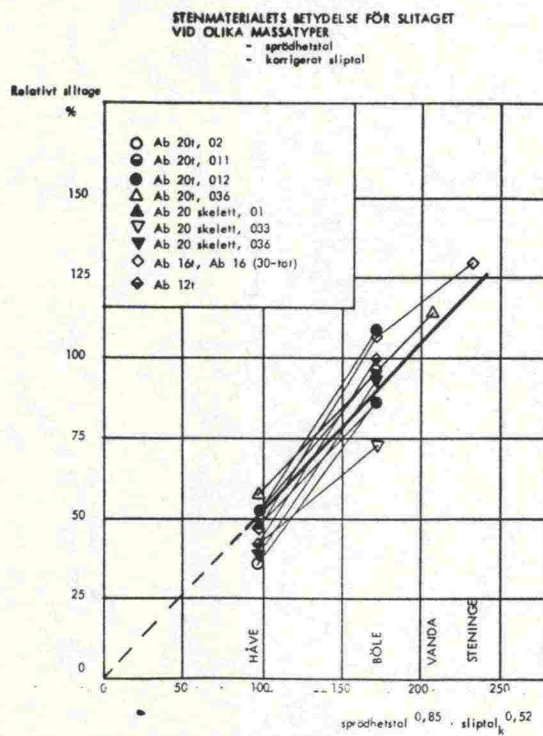
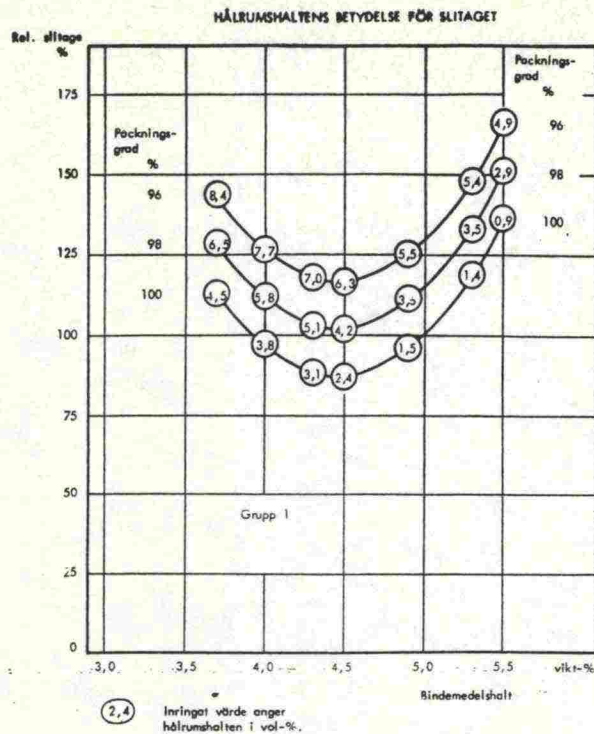
SUhteellinen
KULUMA



yli # 20 mm rakeiden
maara, %



KUVA 4.1 Maksimiraekoon ja karkeiden kivrakeiden määrän vaikutus päällysteen kulutuskestävyyteen VTT:n koeratatulosten mukaan. (kuvat ovat TVH:n julkaisusta Päällystesuunnittelu 1984)



KUVA 4.2 Tyhjätilan, tiivistysasteen ja kiviaineksen lujuusominaisuuksien vaikutus päällysteen kulumiseen Neste OY:n kulutuslaitteella saatujen tulosten mukaan (7).

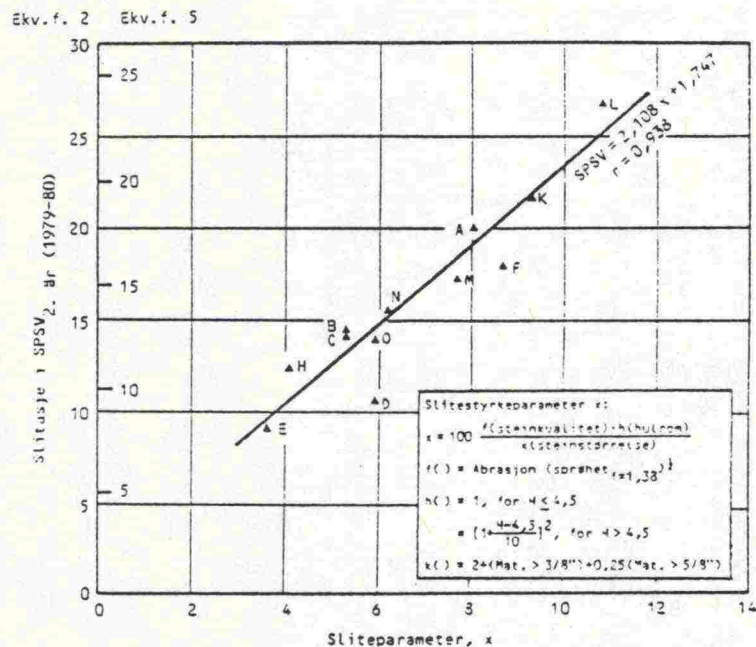


Fig. 3. 2. års slitasje som funksjon av slitestyrkeparameteren, x

KUVA 4.3 Kiviaineksen lujuusominaisuuksien ja karkean kiviaineksen määrän sekä tyhjätilan vaikutus päällysteen kulumiseen norjalaisen koekokeen tulosten perusteella (31).

Kaavojen selvennys:

Slitestyrkeparameter X :

$$X = 100 \frac{f(\text{stejnkvallitet}) \cdot h(\text{hulrom})}{k(\text{stejnstørrelse})}$$

$$f() = \text{abrasjon} \times (\text{sprøhet}_{f=1,38})^{1/2}$$

$$h() = 1, \text{ for } h \leq 4,5$$

$$h() = \left(1 + \frac{h - 4,5}{10}\right)^2, \text{ for } h \geq 4,5$$

$$k() = 2 + (\text{mat.} > 3/8'') + 0,25 \times (\text{mat.} > 5/8'')$$

4.3 Suhteitus deformaation kannalta

Päällysteen deformaatiokestävyyteen vaikuttavat (1)

- sideaineen jäykkyys ko. lämpötilassa ja kuormitusajalla
- filleri - bitumi-suhde
- tiivistetyn massan tilavuussuhteet
- kiviaineksen maksimiraekoko ja seulonta-käyrän muoto
- kiviaineksen raemuoto ja rakeiden pintarakenne

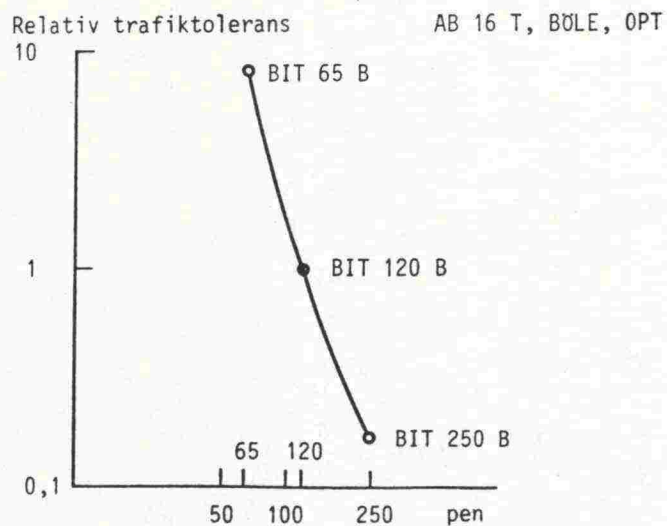
Deformaatiokestävyyttä kuvaa päällystemassan jäykkyysmoduli, johon eniten vaikuttavat mastiksin jäykkyys ja päällysteen tiivistysaste.

Mastiksin jäykkyys riippuu bitumin jäykkyydestä so. kovuusluokasta sekä filleri - bitumi-suhteesta ja fillerin laadusta. Filleri - bitumi-suhteen vaikutus on niin huomattava, että se voi vastata yhden kovuusluokan muutosta bitumissa.

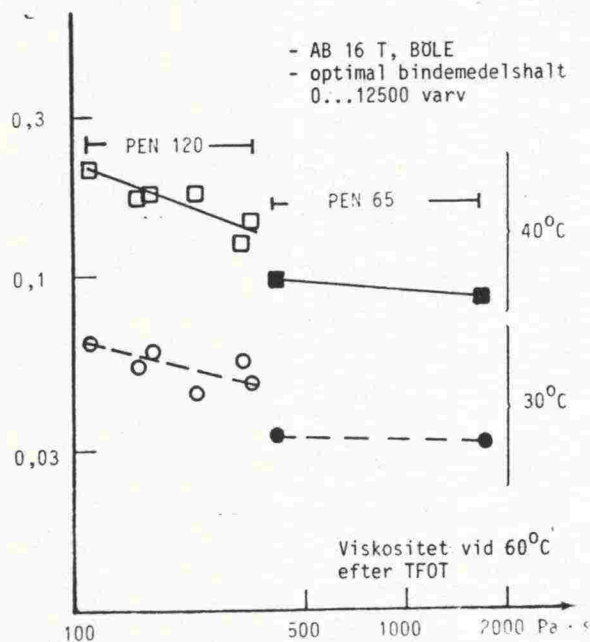
Fillerin laadulla voi olla vielä suurempi vaikutus kuin filleri - bitumi-suhteella. Huokoiset fillerit kuten eräät lentotuhkalajit muuttavat mastiksin ominaisuuksia hyvin voimakkaasti. Fillerin ominaisuuksien vaikutusta ei vielä täysin hallita. Mastiksin tilavuussuhteet (esim. Ridgen-luku) yhdessä fillerin raekoon kanssa näyttävät selittävän fillerin laatuominaisuuksia (8,9,10). Tavallinen kalkkifilleri ei tuota ongelmia suhteituksessa, mutta jotkut syklonipölyt ja lentotuhka voivat aiheuttaa yllätyksiä.

Bitumin kovuusluokka vaikuttaa hyvin paljon deformaatiokestävyyteen. Mitä kovempaa bitumia käytetään sitä paremmin päällyste kestää kuormituksia deformatumatta, kun muut suhteitustekijät pysyvät muuttumattomina. Bitumin lämpötilaherkkyys vaikuttaa siten, että mitä suurempi on penetraatioindeksi sitä pienempi on deformaatio. Bitumin ominaisuuksien merkitys on sitä suurempi mitä suurempi on bitumin suhteellinen osuus päällysteessä. Siten kovuusluokan ja penetraatioindeksin vaikutus on suurempi epäjatkevassa asfalttibetonissa kuin tavallisessa asfalttibetonissa.

Bitumin 60 °C:n viskositeetin suureneminen vähentää deformaatiota. Viskositeetin merkitys riippuu bitumityypistä ja lämpötilasta. Mitä pehmeämpi on bitumi sitä suurempi on viskositeettitaso (viskositeetti yhden tunkeumaluokan sisällä) merkitys. Samalla tavalla vaikuttaa lämpötila; mitä korkeampi lämpötila sitä suurempi on viskositeetin merkitys. Viskositeettitaso suhteellinen merkitys on kuitenkin paljon pienempi kuin tunkeumatason. (kuvat 4.4 ja 4.5).



KUVA 4.4 Bitumin kovuusluokan vaikutus deformaatioon koeratatulosten (7) mukaan



KUVA 4.5 Bitumin viskositeettitasen vaikutus deformaatioon koeratatulosten (7) mukaan. Pystyakselilla on suhteellinen muodonmuutos

Mitä tiiviimpi on kiviainesrunko sitä parempi on päällysteen deformaatiokestävyys, ts. mitä pienempi kiviaineksen tyhjätila sitä stabiilimpi päällyste.

Kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste vaikuttaa voimakkaasti deformaatiokestävyyteen, kun täyttöaste on yli 80 % (kuva 4.6). Kiviaineksen tyhjätila ja tyhjätilan täyttöaste ovat tärkeimpiä kriteereitä arvioitaessa päällysteen deformaatioherkkyyttä.

Raekoko ja -muoto vaikuttavat siten, että maksimiraekoon ja murtopintaluvun kasvaessa lisääntyy deformaatiokestävyys. Hiekkakyhmy ja luonnon hiekan käyttö sinänsä lisää deformaatioalttiutta. Paikoissa, joissa on hyvin raskas liikenne on hiekkalisäys, jos sitä tarvitaan parantamaan seulantakäyrän muotoa, oltava mieluummin murskattua ainesta. Kalliomurskeen ja murskesoran ero on vähäinen, jos ne suhteitetaan samoilla kriteereillä (29)

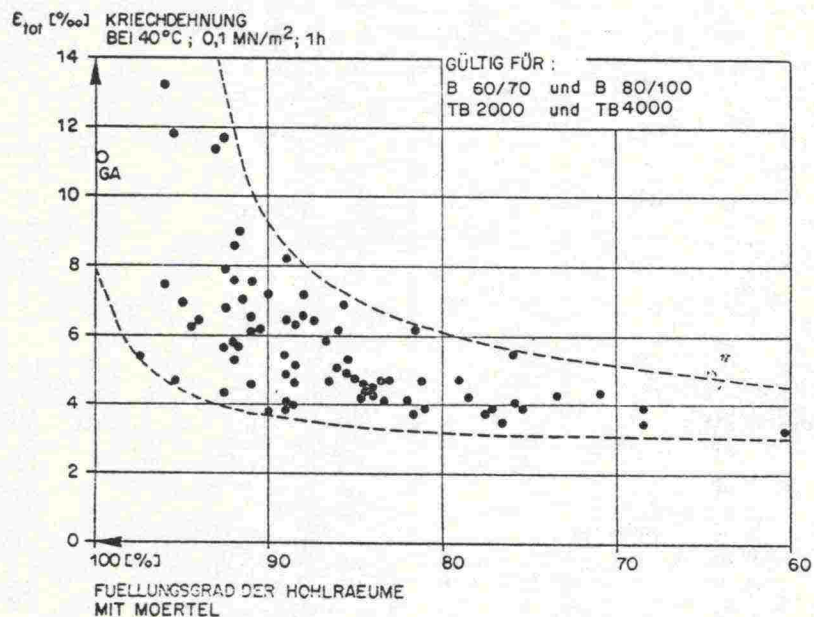


Abbildung 10: Kriechdehnungen ϵ_{40} (0,1 MN/m²; 1 h) von Marshallkörpern in Funktion des Füllungsgrades der Hohlräume mit Mörtel

KUVA 4.6 Täyttöasteen vaikutus päällysteen deformaatiokestävyyteen (23)

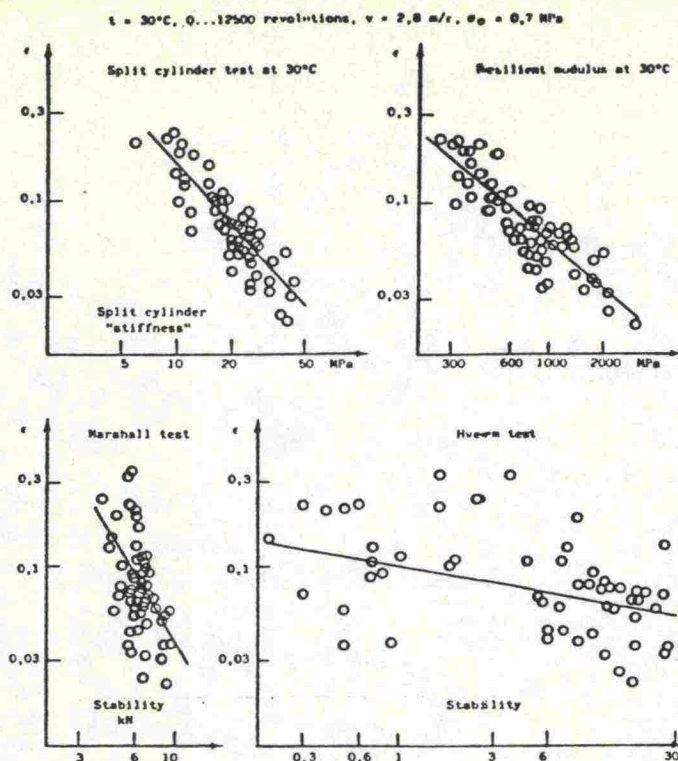
Stabiliteettimäärityksen tarkoitus suhteituksessa on löytää koostumus, jolla päällysteen puristuslujuus on suurimmillaan. Kuten nimityksestä jo käy ilmi, on tarkoitus löytää myös deformaatiokestävyyden kannalta paras koostumus.

Marshall-stabiliteetti 60° C:ssa ei kuitenkaan kovin hyvin kuvaa deformaatiokestävyyttä, ei varsinkaan massoilla, joiden maksimiraekoko on yli 16 mm. Marshall-suhde (stabiliteetti/flow) ja kokoonpuristuma (flow) kuvaavat nekin huonosti deformaatiokestävyyttä (11,20). Hienorakeisilla massoilla ja epäjatkuvalle asfalttibeetonilla on Marshall-stabiliteetin selityskyky ilmeisesti jo käyttökelpoinen (kuva 4.8). Marshall-stabiliteettia käytetään kuitenkin hyvin yleisesti suhteituksessa kaikkialla maailmassa.

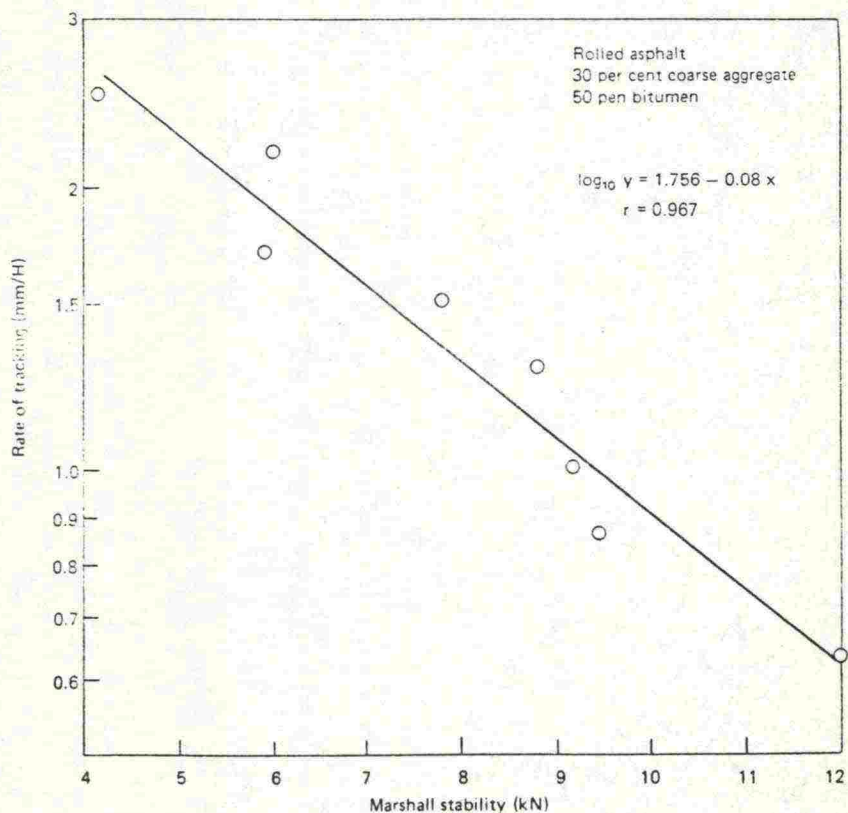
Puristusvetolujuus ja -jäykkyys kuvaavat Marshall-stabiliteettia paremmin deformaatiokestävyyttä (13,29). Puristusvetolujuustesti sopii Marshall-testiä paremmin erityisesti karkearakeisille massoille.

Creep-testi (uniaksiaalinen puristuslujuus) kuvaa jo varsin hyvin päällystemassojen deformaatiokestävyyttä, vaikka testi on sinänsä hyvin yksinkertainen (20). Creep-testiä käytetään yleisesti asfalttimassojen deformaatioominaisuuksia tutkittaessa. Tätä testiä suositellaan myös tässä työssä deformaatiokestävyyden tarkistukseen. Creep-testi on kuitankin liian työläs käytettäväksi varsinaisessa suhteituksessa, so. kaikkien eri bitumipitoisuuksilla tehtyjen koekappaleiden koestukseen.

Päällysteen deformaatiokestävyyttä ei voida päätellä riittävällä varmuudella massan koostumussuhteiden tai stabiliteettimittauksen perusteella. Suhteitetun massan deformaatiokestävyys on tarkistettava aina, kun otetaan käyttöön uusia materiaaleja tai koostumus poikkeaa suuresti aikaisemmasta. Rutiininomaisessa suhteituksessa saadaan riittävä käsitys deformaatiokestävyydestä joko creep-testillä tai mahdollisesti myös halkaisuvetolujuustestin tuloksesta lasketulla jäykkyysluvulla. Molemmissa testeissä on joko laiteteknillisiä tai menetelmätekniillisiä yksityiskohtia, jotka vaikuttavat tulokseen. Suomessa tulisi sopia yhdestä yhteisestä menetelmästä, jolla koekappaleiden lujuus suhteituksen yhteydessä testataan. Halkaisuvetolujuustesti olisi käytännöllinen ratkaisu, koska se voidaan tehdä Marshall-puristimella. Halkaisuvetolujuustestiä käytetään jo eräissä maissa suhteituksen yhteydessä (12). Kokemuksia on vielä kuitenkin muuallakin vähän.



KUVA 4.7 Erilaisten lujuusmääritysten ja deformaation välisiä yhteyksiä Neste OY:n koeratulosten mukaan (29)



KUVA 4.8 Epäjatkuvan asfalttibetonin deformaatio 45°C :ssa Marshall-stabiliteetin funktiona, Wheel Tracking (17)

4.4 Suhteitus väsymislujouden kannalta

Päällysteen väsyminen alkaa tavallisesti sidotun kerroksen alapinnasta, jossa päällysteen taipumisesta aiheutuvat venymät ovat suuria. Suuret pyöräkuormat voivat kesälämpötiloissa aiheuttaa väsymisen myös päällysteen yläpinnassa eräiden tutkimusten mukaan (1). Tällä on selitetty mm. raskaasti liikennöityjen teiden pintavaurioita.

Bitumipitoisuuden lisääntyminen yleensä parantaa väsymislujutta. Varsinainen vaikuttava tekijä on kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste (1). Päällysteen komponenttien volyymsuhteiden ja väsymislujouden välillä on monimutkainen yhteys.

Bitumin kovuusluokka ei ole kovin merkitsevä päällysteen väsymiselle (1), koska bitumin kovuusluokka vaikuttaa eri suuntiin väsymiseen vaikuttavissa tekijöissä.

Päällysteen väsymislujuus ei tavallisesti tule tarkastelun kohteeksi suhteitusta suoritettaessa. Kun suhteitus liittyy rakennesuunnitteluun, joudutaan arvioimaan erilaisten koostumusten vaikutus rakenteen väsymiselle. Väsymislujuus voidaan arvioida käytännön tarpeita varten riittävän tarkasti massan koostumukseen perustuvien korrelaatioiden avulla. Arviointiin voidaan käyttää esim kirjallisuusviitteessä 14 esitettyä menetelmää. Jos käytetään erikoisbitumia tai päällysteen koostumus poikkeaa huomattavasti tavanomaisesta, on väsymislujuus määritettävä kokeellisesti.

4.5 Suhteitus vedenkestävyyden kannalta

Päällysteen vedenkestävyys riippuu

- kivirakeiden peittoasteesta ja siitä kuinka hyvin bitumi on "kostuttanut" kiviaineksen
- bitumin ja kiven välisestä tarttuvuudesta
- bitumifilmin paksuudesta
- päällysteen avoimuudesta.

Tarttuvuus ja vedenkestävyys ovat eri asioita. Hyvä tarttuvuus ei vielä takaa päällysteen vedenkestävyyttä. Vaikka tarttuvuus olisi hyvä, voi esim. kiviaineksen likaisuus estää bitumia kostuttamasta kivirakeita eikä tarttuminen pääse tapahtumaan. Tarttuvuuskokeet tehdään aina pestyllä kiviainesella, joten kostutusvaikeudet eivät tule tarttuvuuskokeessa esille. Päällysteen vedenkestävyyteen vaikuttaa myös miten täydellisesti suuret kivirakeet ovat peittyneet bitumilla.

Tarttuvuus riippuu sekä bitumin että kiviaineksen ominaisuuksista eikä sitä voida varmasti ennustaa kummankaan osapuolen ominaisuuksista. Kiviaineksen tarttuvuus vaihtelee enemmän kuin bitumin tarttuvuus.

Kiviaineksen tyhjätilan tulee olla niin suuri, että kiviainesrakeiden pinnalle tulee riittävän paksu bitumikalvo ja että täyttöaste ei samalla tule liian suureksi.

Tarvittava kiviaineksen tyhjätila vaihtelee siten, että maksimiraekoon kasvaessa tarvittava tyhjätila pienenee. AB 16:lla kiviaineksen tyhjätilan tulee olla vähintään 15 - 16 til-% ja AB 25:lla 13,5 - 14,5 til-%. Murskesorilla on usein pieni kiviaineksen tyhjätila. Asfalttibetonilla se ei kuitenkaan tule yleensä kriittiseksi, koska asfalttibetonien valmistuksessa tavallisesti käytetään hiekkaa lisänä.

Öljysoramassoilla kiviaineksen tyhjätila voi olla liian pieni, koska sitä täyttää sideaineen lisäksi kiviaineksen sisältämä vesi. Jos öljysoramassa on heti valmistuksen jälkeen pehmeä, "kuohuu" eikä asetu, voi syynä pikemminkin olla kiviaineksen tyhjätilan ylitäyttö kuin sideaineen huono tarttuvuus.

Asfalttipäällysteen vedenkestävyyttä ei voida päätellä luotettavasti komponenttien ominaisuuksista tai massan koostumuksesta, koska tarttuvuus on ominainen kullekin bitumi - kiviaines-kombinaatiolle ja tarttuvuuden muodostumismahdollisuuteen vaikuttavat monet tekijät. Tästä syystä on suhteituksen yhteydessä tarkistettava vedenkestävyys aina, kun käyttöön otetaan uusi kiviaineslähde tai bitumityyppi, kiviaines on likainen, bitumikalvot ovat ohuita ja/tai päällyste on avoin.

Päällystemassojen vedenkestävyyden koestukseen on kehitetty useita menetelmiä (15). PTL:n sideainekomitea on tarkentanut halkaisuvetolujuus-kokeeseen perustuvan menetelmän, jota suositellaan käytettäväksi (16). Huomattava on, että asfalttimassa tulee tehdä pesemättömistä lajitteista, jotta koe kuvaisi päällysteen vedenkestävyyttä. PTL:n ohjeissa koe tehdään pesuseulotuista lajitteista tehdyllä asfalttimassalla.

PTL:n menetelmässä massa tehdään varta vasten avoimeksi. Menetelmäohjeen mukainen massa ei siis aivan vastaa todellisuutta. Kun vesi vaikuttaa ensimmäiseksi päällysteen avoimiin kohtiin, antanee menetelmä sopivan vertailutason.

4.6 Suhteitus päällysteen säänkestävyyden kannalta

Säänkestävyydellä tarkoitetaan päällysteen pitkäaikaiskestävyyttä (durability). Päällysteen ominaisuudet muuttuvat ajan ja ilmaston vaikutusten alaisena.

Suomen kiviaines on yleensä kestäväää rapautumista vastaan ja sen tilavuus ei muutu veden vaikutuksesta. Vain muutamit paljon kiillettä sisältävät mineraalit ja teollisuuden sivutuotteet vaativat suhteituksen yhteydessä vedenkestävyyden- tai rapautumiskoestuksen. Tähän soveltuvia menetelmiä on standardisoitu ASTM:n ja DIN:n normeissa.

Bitumin kokovenemisherkkyys rajoitetaan bitumin laatuvaatimuksissa eikä se siten varsinaisesti vaikuta suhteitukseen. Mitä avoimemmaksi päällyste suhteitetaan sitä nopeammin bitumi tietenkin kovenee päällysteessä. Päällystyskohteissa, joissa on vähäinen liikenne ja päällystettyä ei uusita pitkään aikaan, esim. pihapäällysteet, on koveneminen otettava huomioon päällystetyyppiä ja/tai bitumia valittaessa.

4.7 Asfalttimassan työstettävyyden huomioonottaminen

Asfalttimassan lajittumiseen vaikuttaa ennen kaikkea maksimiraekoko, mitä suurempi on raekoko sitä herkemmin massa lajittuu. Mastiksin määrä ja jäykkyys pienentää lajittumisherkkyyttä. Lajittumiseen vaikuttaa myös seulontakäyrän muoto ja kiviaineksen muotoarvot.

Lajittumisherkkyys voidaan määrittää nk. SH-laitteella. Laitteen äyttömahdollisuudet tullaan selvittämään päällystystöiden yhteydessä vuonna 1986. Nämä kokeet selvittänevät pitääkö lajittumisherkkyys testata etukäteen ja onko SH-laite riittävän tarkka. Lajittumisherkkyuden mittaamiseen SH-laitteella tarvitaan huomattava määrä massaa ja voidaan yleensä tehdä vasta koe-massojen yhteydessä.

Asfalttimassat, jotka suhteitetaan raskaalle liikenteelle ja deformaatiota kestäviksi, voivat olla vaikeasti tiivistettävissä. Tällaisia ovat erityisesti pelkästään murskatusta materiaalista tehdyt massat, joilla on suuri filleri - bitumi-suhde. Tällaisten massojen tiivistettävyyden tulee testata etukäteen, jotta tavanomaista suurempi tiivistystarve tulee otetuksi huomioon työtä suunniteltaessa ja tiivistyskalustoa varattaessa. Koko etu massan suunnittelusta menetetään, jos tiivistys epäonnistuu.

Deformaatiokestävyyden ja tiivistettävyyden välillä on selvä yhteys. Massa, joka on vaikeasti tiivistettävissä, ei myös kään deformoidu helposti (17,18). Tiivistettävyyden kriteeri on se työmäärä (iskujen määrä), joka tarvitaan tietyn tiiveyden saavuttamiseksi.

5. SUHTEITUSMENETELMÄT

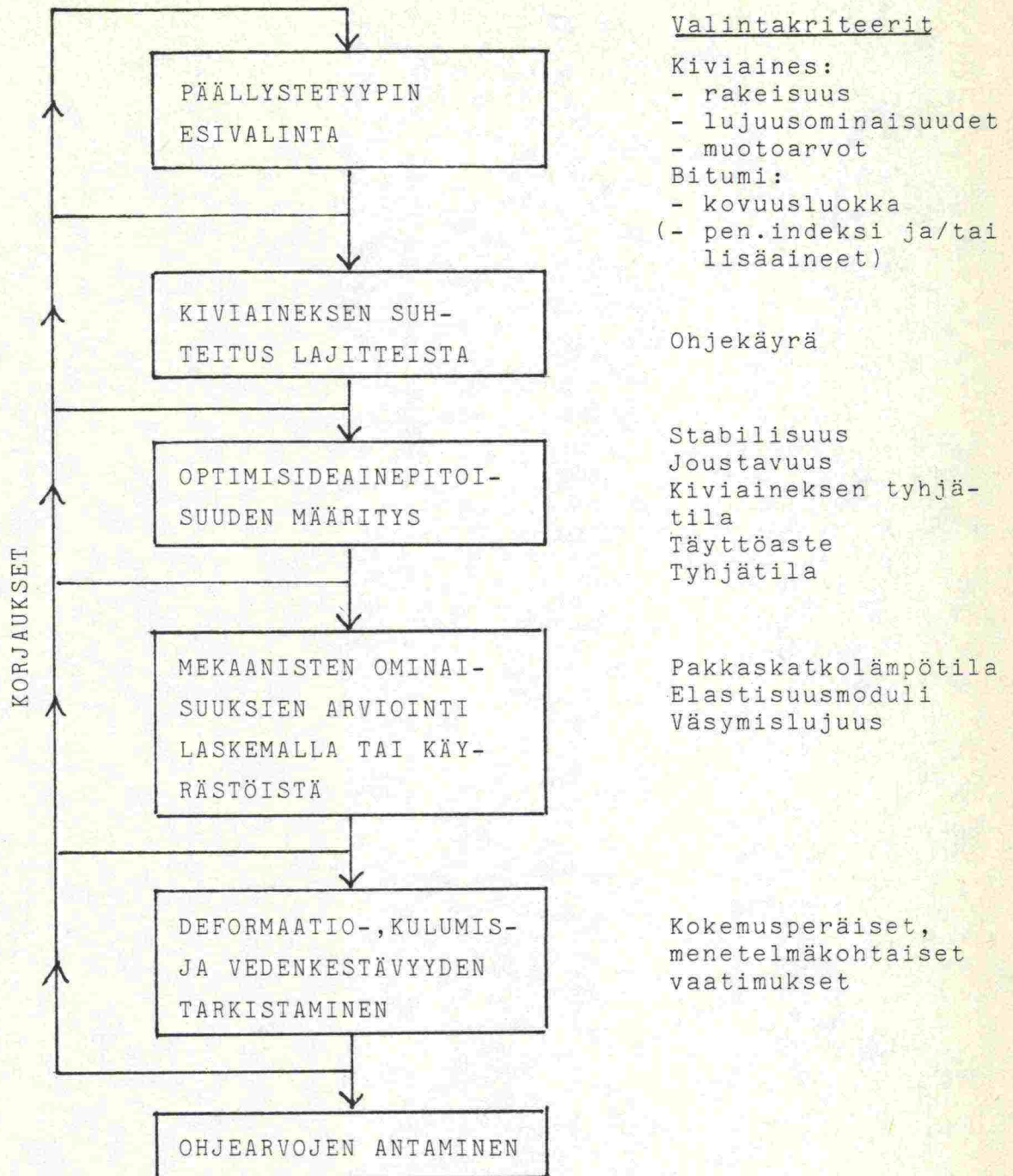
Asfalttipääällysteiden suhteitukseen on kehitetty useita menetelmiä. On olemassa täysin teoreettisia menetelmiä kuten triaksiaalikokeeseen perustuvat menetelmät. On myös täysin simulointiin perustuvia menetelmiä kuten alkuperäinen Marshall-menetelmä tai Wheel tracking-kokeeseen perustuva koostumuksen valinta.

Käytännön suhteitustoiminassa käytetään eniten puoliteoreettisia menetelmiä, joissa yhdistetään koekappaleiden laskennollisten tai mitattujen ominaisuuksien vertailu käytännön kokemukseen perustuvaan koostumusanalyysiin.

Asfalttipääällysteen rasitusmekanismien tunteminen ja pääällysteen ominiasuuksien mittaamismenetelmien kehittämien on tehnyt mahdolliseksi teoreettisen mitoituksen. Nämä menetelmät vaativat erittäin hyvän tutkimuslaitevarustuksen.

Asfalttipääällysteen ominaisuuksien tutkimisen myötä on löydetty kokeellisia yhteyksiä pääällysteen mekaanisten ominaisuuksien ja koostumuksen välille. Elastisuusmoduli (pakkaskatkot ja kantavuus) ja väsymislujuus voidaan kokeellisten korrelaatioiden avulla arvioida käytännössä riittävän luotettavasti koostumuksen, pääällysteen komponenttien tilavuussuhteiden perusteella. Asfalttimassan plastista deformaatiota, kulumista ja vedenkestävyyttä sen sijaan ei voida riittävän luotettavasti ennustaa yksinomaan asfalttimassan koostumuksen perusteella. Nämä ominaisuudet on varmistettava kokeilla suhteituksen yhteydessä.

Tyypillinen suhteitusmenetelmä sisältää kuvan 5.1 mukaiset vaiheet.

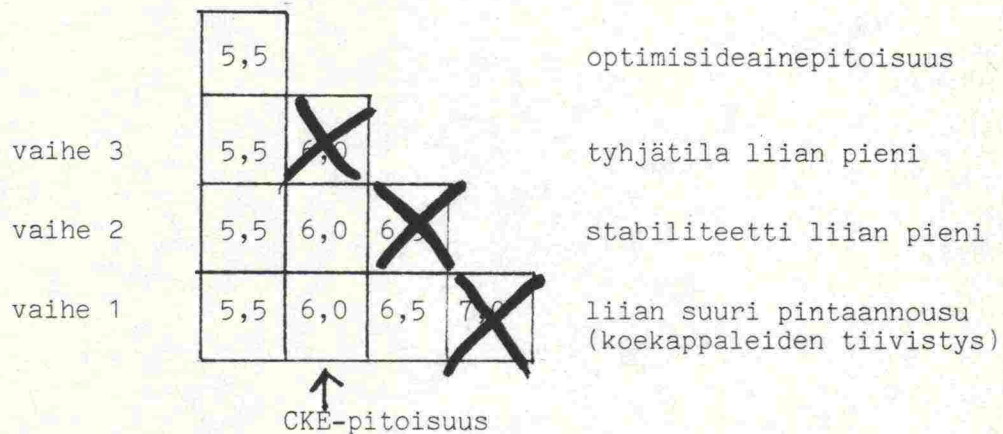


KUVA 5.1 Suhteitusmenetelmän tyypilliset vaiheet.

5.1 Asfalttibetonin suhteitusmenetelmät

Tavallisimmat asfalttibetonin suhteitusmenetelmät ovat Hveem-menetelmä ja Marshall menetelmä. Menetelmät on esitelty yksityiskohdittain The asphalt Instituten julkaisussa MISC-78-3 (24).

Hveem-menetelmässä etsitään ensin todennäköisin sideainepitoisuus kiviaineksen pinta-alan ja rakeiden pintaominaisuuksien perusteella (CKE-koe). Tämän pitoisuuden molemmiin puolin tehdään Hveem-koekappaleet, joista määritetään puristuslujuus triaksaalikokeella (Hveem-stabiliteetti), taivutusmurtolujuus (Hveem-koheesio), tilavuuspaino ja tyhjätila sekä havainnoidaan pintaannousu tiivistyksessä. Optimisideainepitoisuus valitaan "uloslöyönti"-menettelyllä kolmessa vaiheessa.



Keskeistä Hveem-menetelmässä on valita aina ne suurimmat sideainepitoisuudet, jotka vielä täyttävät tietyn vaatimuksen. Menetelmässä pyritään koko ajan mahdollisimman suureen sideainepitoisuuteen.

Hveem-menetelmään liittyy myös päällystekoe-kappaleen turpoamistesti, jolla pyritään karsimaan pois vettä imevät ja tilavuusmuutoksille alttiit kiviainekset.

Vaatusarvot stabiliteetille, koheesiolle jne. vaihtelevat jonkin verran eri normeissa. Asphalt Institutin suosittelemat vaatimukset on esitetty julkaisussa MISC-78-3.

Hveem-menetelmä on käytössä pääasiassa USA:ssa ja Kanadassa, Euroopassa sitä ei juuri käytetä.

Marshall-menetelmässä valitaan optimisideainepitoisuus koekappaleiden puristulujuuden (Marshall-stabiliteetti), kokoonpuristuman (flow) ja tyhjätilan perusteella. Nykyisin menetelmään liittyy aina komponenttien tilavuussuhteita koskevat vaatimukset kuten kiviaineksen tyhjätila ja sen täyttöaste.

Marshall-menetelmässä on optimisideainepitoisuus se pitoisuus, joka antaa suurimman stabiliteetin ja samalla täyttää kokoonpuristumalle tai stabiliteetin ja kokoonpuristuman suhteelle, kiviaineksen tyhjätilalle, täyttöasteelle ja/tai tyhjätilalle asetetut vaatimukset.

Marshall-koekappaleet tiivistetään pudotusvasaralla. On todettu, että tällä tavalla tiivistetyn koekappaleen ominaisuudet eivät täysin vastaa jyräämällä tiivistetyn massan ominaisuuksia. Marshall-tiivistysmenetelmää on yritetty parantaa käyttämällä aallotettua tai kaltevapintaista vasaraa (2). Nämä eivät ole kuitenkaan saaneet laajempaa käyttöä.

Marshall-stabilisuuden määrittäminen on epätarkka varsinkin, jos maksimiraekoko on suuri. Marshall-stabilisuuden ei myöskään ole kovin hyvin todettu korreloivan deformaatiokestävyyden kanssa.

Edellä mainituista heikkouksista huolimatta Marshall-tiivistystä ja stabiliteettia käytetään yleisesti suhteituksissa. Marshall-menetelmää on pitkään käytetty ja siihen liittyy laajin kokemus käytännöstä.

Eri maissa ja normeissa käytettyjä Marshall-suhteitusvaatimuksia on esitetty liitteissä.

Halkaisuvetolujuus-koestusta on alettu käyttää suhteituksessa koekappaleiden lujuuden (stabiliteetin) ja jäykkyysmodulin määrittämiseen (25, 26). Belgiassa on kehitetty tähän kokeeseen perustuva suhteitusmenetelmä (25). Tämän koestuksen etuja ovat parempi tarkkuus ja sillä saadaan määritettyä todellinen lujuus. Näin tämän kokeen perusteella saadaan todennäköisesti parempi ennuste kestävyydelle käytännössä.

5.2 Epäjatkuvan asfalttibetonin suhteitusmenetelmät

Epäjatkuvan asfalttibetonin suhteitusmenetelmä on julkaistu englantilaisessa normissa BS 594-73 sekä kirjallisuusviitteissä (13) ja (27).

Normin BS 594 menetelmä perustuu mastiksiosan Marshall-suhteitukselle. Menetelmässä tehdään mastiksi sekoittamalla 6 osaa hiekkaa ja 1 osa filleriä. Tälle seokselle etsitään optimisideainepitoisuus. Optimisideainepitoisuus on keskiarvo pitoisuuksista, joilla saadaan suurin stabiliteetti, päällysteen tiheys ja kiviaineksen irtotiheys. Päällysteen lopullinen sideainepitoisuus saadaan taulukoista karkean kiviaineksen määrän ja mastiksin optimisideainepitoisuuden perusteella.

Englannissa käytetään Wheel Tracking-testiä epäjatkuvan asfalttipäällysteen suhteitukseen. On todettu, että deformaatio jää alle 0,5 mm/v tiellä, jos asfalttimassan ura Wheel Tracking-testissä täyttää ehdon

$$\text{ura testissä mm/h} \leq \frac{14000}{\text{cvld} + 100} \\ (45^{\circ}\text{C}, 525\text{N})$$

jossa cvld = raskaiden ajoneuvojen määrä päivässä kaistaa kohti

Wheel Tracking-testiä käytetään myös mastiksiosan koostumuksen määrittämiseen ja tämän testin ja mastiksin Marshall-stabiliteetin välille on löydetty yhteys.

Epäjatkuvan asfalttipäällysteen Marshall-suhteitusvaatimukset (koko massa kohdistuvat) on ehdotettu otettavaksi käyttöön (13), koska mastiksin perusteella tapahtuvaan suhteitukseen liittyy heikkouksia mm. se, että seos 6 osaa hiekkaa ja 1 osa filleriä ei välttämättä aina ole paras seos. Optimisideainepitoisuuden määrittäminen perustuu ehdotuksessa stabiliteetille, stabiliteetin ja flow'n suhteelle sekä tyhjätilalle.

5.3 Vettäläpäisevän asfalttibetonin suhteitusmenetelmä

Vettäläpäisevän päällysteen suhteitukseen käytetään yleisesti USA:n Federal Highway Administrationin kehittämää suhteitusmenetelmää. Tähän perustuu mm. The Asphalt Instituten julkaisema suhteitusmenetelmä (24).

Tässä menetelmässä valitaan kiviaineksen rakeisuus ohje-
arvojen perusteella. Rakeisuuden ohjearvot perustuvat
kokemukseen. Optimisideainemäärä valitaan ja rakeisuus
tarkistetaan seuraavasti:

- a) karkean kiviaineksen ($> 2,36$ mm) tyhjätila
määritetään, tärytiivistys ilman sideainet-
ta
- b) optimisideainepitoisuus määritetään karkean
kiviaineksen pintakapasiteetin perusteella
(CKE-menetelmä)
- c) lasketaan hienon kiviaineksen määrä, joka
yhdessä bitumin kanssa täyttää karkean kivi-
aineksen tyhjätilaa niin paljon, että pääl-
lysteeseen jää suunniteltu määrähuokosia ts.
päällysteen tyhjätila on suunnitelman mukai-
nen. Päällysteen tyhjätila riippuu sademää-
rystä, kaltevuudesta ja päällysteen paksuu-
desta
- d) tarkistetaan saadaanko edellä kohdassa c)
lasketulla hienon kiviaineksen määrällä ha-
luttu kokonaiskiviaineksen seulontatul-
os. Rakeisuuden ohjearvoja korjataan tarvitta-
essa
- e) tarkistetaan kokeellisesti oikea sekoitus-
lämpötila, ts. tutkitaan valuuko bitumi,
jos massa valmistetaan lämpötilassa, jossa
bitumin viskositeetti on 800 ± 100 mm²/s.
Jos tulos ei ole tyydyttävä, muutetaan se-
koituslämpötilaa tai bitumin kovuutta
- f) varmistetaan tiivistetyn massan vedenkestä-
vyys.

Asphalt Institutin menetelmän työohjeet ja suhteitus-
vaatimukset on esitetty julkaisussa MISC-78-3 (24), jo-
ten niitä ei esitetä tässä.

Menetelmää voidaan yksinkertaistaa korvaamalla CKE-koe
Marshall-suhteituksella Pooley'n esittämällä tavalla (13).
Marshall-stabiliteetti on määrättävä tavallista alhai-
semmassa lämpötilassa, jotta määrittäminen olisi vaikeuksi-
ta tehtävissä ja maksimikohta erottuisi. Halkaisu-
vetolujuuskoe on stabiliteettimaksimin määrittämisessä to-
dennäköisesti vielä parempi ratkaisu.

Todennäköinen bitumipitoisuus voidaan arvioida kivi-
aineksen pinta-alan perusteella Marshall-kappaleita var-
ten, jolloin ei tarvitse tehdä CKE-koetta. Pinta-ala-
kertoimet on annettu julkaisussa (24).

Vedenkestävyyteen on erityisesti kiinnitettävä huomio-
ta, koska vettäläpäisevässä päällysteessä vesi pääsee
vaikuttamaan kaikkialla päällysteen sisällä. Vettä
läpäisevä päällyste on suunniteltava siten, että bitu-
mikalvon paksuus on riittävä, vähintään 10 μ m. Bitumiin
on aina lisättävä tartuketta.

6 EHDOTUS SUHTEITUSMENETELMÄKSI JA SUHTEITUSVAATIMUKSIKSI

6.1 Yleiskuvaus

6.11 asfalttibetoni

Laboratoriosuhteituksella määritetään asfalttimassan optimikoostumus kulutuskestävyyden, deformaatiokestävyyden ja vedenkestävyyden suhteen. Sideainepitoisuutta valittaessa käytetään kriteereinä tiivistetyn koekappaleen stabiliteettia, kokoonpuristumaa, kiviaineksen tyhjätilaa, täyttöastetta ja päällysteen tyhjätilaa. Vaatimusarvot näille kriteereille on annettu taulukossa 6.1. Optimikoostumus on se, joka parhaiten täyttää taulukossa esitetyt vaatimukset.

Koekappaleet valmistetaan nk. Marshall-sekoituksella ja -tiivistyksellä. Tiivistystyö on tavallisesti 50 + 50 iskua. Teillä, joilla on paljon raskasta liikennettä, on tiivistystyö 75 + 75 iskua ja vähäliikenteisillä teillä 35 + 35 iskua.

Tarvittaessa tarkistetaan asfalttimassan kulutuskestävyys Tröger-laitteella ja deformaatiokestävyys staattisella creep-testillä. Väsymislujuus arvioidaan Englannin Traffic and Road Research laboratoryn kehittämällä menetelmällä.

Asfalttimassan vedenkestävyys tutkitaan määrittämällä lujuus kuivana ja märkänä. Koestusmenetelmä on halkaisuvetolujuus-koee, koeolosuhteet ja vesikäsitteily ovat PTL:n sideainekomitean ehdotuksen mukaiset. Koemassa tehdään kuitenkin pesemättömästä kiviaineksesta.

6.12 Öljysora

Öljysoramassan laboratoriosuhteituksella varmistetaan, että kiviaineksen tyhjätila riittää sideaineelle ja kiviaineksen sisältämälle vedelle (kylmäsekoitus). Kriteerinä käytetään tiivistetyn koekappaleen kiviaineksen tyhjätilaa ja täyttöastetta. Sideainepitoisuus valitaan ohjearvojen perusteella.

Öljysoramassan vedenkestävyys tarkistetaan MYR-kokeella.

6.2 Asfalttibetonin suhteitus

6.21 Kiviaineksen suhteitus

Kiviaineksen suhteituskella saadaan kiviaineslajitteista ja täytejauheesta ohjekäyrän mukainen kiviaines asfalttipäällysteen valmistamista varten. Kiviaineksen suhteitusta varten on määritettävä lajitteiden rakeisuudet.

Suhteitus tehdään joko matemaattisesti tai graafisesti. Matemaattinen suhteitus voidaan tehdä mikrotietokoneilla, joihin on saatavissa valmiita ohjelmia.

Matemaattisen ja graafisen menetelmän ohjeet on annettu menetelmässä TIE 240.

6.22 Koekappaleiden valmistus

Asfalttimassa ja koekappaleet tehdään Marshall-menetelmän mukaisesti, ASTM D 1559.

Koekappaleet tehdään viidellä eri sideainepitoisuudella, kolme koekappaletta kullakin sideainepitoisuudella. Bitumipitoisuudet valitaan 0,3 p-%-yksikön välein niin, että keskimääräinen on lähellä optimipitoisuutta. Tarvittaessa tehdään koekappaleet vielä suuremmalla sideainepitoisuusalueella, esim. seitsemällä eri pitoisuudella.

6.23 Kiinto- ja irtotiheyden määrittäminen

Koekappaleiden irtotiheys (päällysteen tiheys) määritetään menetelmän ASTM D 1188 mukaisesti (parafinoidut koekappaleet). Vaihtoehtoinen menetelmä on ASTM D 2626 (kyllästys vedellä).

Irtotiheys tehdään Suomessa usein myös ilman parafinointia. Tällä saadaan käyttökelpoisia tuloksia, jos tyhjätila on pieni luokkaa 2 til-% ja sen alle. Huomattava on, että tällöin saadaan vaihtelevasti 0.1 - 0.3 til-%-yksikköä todellista alhaisempia tyhjätiloja. Irtotiheyden vaihteluiden takia voi tilavuussuhteiden muutosten selvyys kärsiä.

Irtotiheyden koevirheiden aiheuttamaa hajontaa voidaan parantaa piirtämällä irtotiheys bitumipitoisuuden funktiona. Laskuissa käytettävä irtotiheys luetaan pisteet parhaiten yhdistävältä käyrältä. Koekappaleiden keskiarvoja laskettaessa jätetään huomiotta selvästi virheelliset mittaukset.

Koekappaleiden massan kiintotiheys (massan tiheys) lasketaan pääsääntöisesti komponenttien tiheyksistä. Karkean kiviaineksen tiheys tehdään menetelmällä ASTM C 127, hienon menetelmällä C 128, fillerin menetelmällä D 854 ja bitumin menetelmällä D 70.

Koekappaleissa käytettyjen asfalttimassojen kiintotiheys voidaan määrittää menetelmällä ASTM D 2041. Menetelmä on tarkoitettu tiivistämättömän asfalttimassan tiheyden määrittämiseen, joten määrittäminen tehdään tiivistämättömästä osasta kullakin bitumipitoisuudella tehtyä massaa.

Kiintotiheys tehdään Suomessa usein kuitenkin tiivistetyistä näytteistä lämmittämällä ja hajoittamalla poranäyte tai suhteituskoekappale. Käyttökelpoisen tuloksen aikaansaaminen edellyttää, että massan "hajoittaminen" suoritetaan huolellisesti. Vaikka koekappaleen hajoittaminen suoritetaan huolellisesti, saattaa tuloksiin tulla virhettä varsinkin, jos massassa on suhteellisen paljon bitumia.

Massan kiintotiheys voidaan määrittää myös nk. pyknometrimenetelmällä. Tätä voidaan käyttää vain, kun kiviaines on tiivistä, kiviaineksessa ei ole huokosia, joihin liuotin voi imeytyä.

6.24 Stabiliteetin ja kokoonpuristuman määrittäminen

Koekappaleiden Marshall-stabiliteetti ja -kokoonpuristuma (flow) määritetään menetelmän ASTM D 1554 mukaisesti lämpötilassa 60°C.

Halkaisuvetolujuus ja vastaava kokoonpuristuma ja jäykkyysmoduli määritetään kirjallisuusviitteessä (25) esitetyllä tavalla lämpötilassa 25°C normaalisti.

6.25 Tyhjätilan laskeminen

Koekappaleiden tyhjätila (päällysteen tyhjätila) lasketaan koekappaleiden irtto- ja kiintotiheyden perusteella menetelmän ASTM D 3203 mukaisesti.

Jos kiviaines on huokoinen (imee bitumia) lasketaan efektiivinen kiviaineksen tiheys ja bitumipitoisuus ja näiden perusteella tyhjätila. Laskentamenetelmä on esitetty kirjallisuusviitteessä (3). Laskentaesimerkki on liitteessä 1.

6.26 Kiviaineksen tyhjätilan ja täyttöasteen laskeminen

Kiviaineksen tyhjätila ja sen täyttöaste lasketaan kirjallisuusviitteessä (3) esitetyllä tavalla. Laskentaesimerkki on liitteessä 1.

6.27 Kulutuskestävyyden tarkistus

Koekappaleisen kulutuskestävyys tarkistetaan tarvittaessa Norjan tielaboratorion kehittämällä Tröger-kulutuslaitteen käyttöön perustuvalla menetelmällä. Menetelmä on esitetty kirjallisuusviitteessä (33).

6.28 Deformaatiokestävyydentarkistus

Koekappaleiden deformaatiokestävyys tarkistetaan staattisella puristuslujuustestiillä nk. creep-kokeella. Kokeen suoritusohjeet on esim. kirjallisuusviitteessä (23). Creep-koelaitteita tekee usea valmistaja. Tulokset riippuvat jossain määrässä koelaitteesta.

6.29 Vedenkestävyyden tarkistus

Vedenkestävyys tarkistetaan tarvittaessa PTL:n menetelmällä. Menetelmä on kuvattu kirjallisuusviitteessä (16). Jotta koe kuvaisi kaikkia päällysteen vedenkestävyyteen vaikuttavia tekijöitä, on asfalttimassa tehtävä pesemättömistä lajitteista.

6.30 Optimikoostumus

Koekappaleiden koestustulokset piirretään sideainepitoisuuden funktiona. Kuvaajat tehdään seuraavista ominaisuuksista:

- stabiliteetti
- kokoonpuristuma
- irtotiheys
- tyhjätila
- kiviaineksen tyhjätila

Kuvaajien perusteella määritetään se sideainepitoisuus, joka parhaiten täyttää taulukoissa 6.1 - 6.3 annetut vaatimukset.

Jos vaatimuksia ei voida täyttää, on tehtävä muutoksia kiviainekseen ja/tai muutettava sideaineen kovuusluokkaa.

TAULUKKO 6.1 Asfalttibetonin suhteitusvaatimukset, jatkuva kiviaineskäyrä, Marshall-koestus

Käyttökohdeluokka		I	II	III	IV
Liikennemäärä					
-kokonaisajon./vrk		≥ 5000	≥ 5000	≥ 1000	≤ 1000
-raskaita - " -		≥ 1000	1000-500		
Tiivistys,	iskua	75+75	50+50	50+50	35+35
Stabiliteetti,	kN	$\geq 6,0$	$\geq 4,5$	$\geq 4,0$	$\geq 3,5$
Flow	mm	2-4	1-4	1-4,5	1-5
Täyttöaste	til-%	70-80	75-85	80-90	80-90
Tyhjätila	"	3-5	2-4	1-4	1-3
Kiviaineksen tyhjätila	"				
- maksimiraekoko	25 mm	$\geq 14,0$	$\geq 14,0$	$\geq 14,0$	$\geq 15,0$
- "-	20 "	$\geq 14,5$	$\geq 14,5$	$\geq 14,5$	$\geq 15,5$
- "-	18 "	$\geq 15,0$	$\geq 15,0$	$\geq 15,0$	$\geq 16,0$
- "-	16 "	$\geq 15,5$	$\geq 15,5$	$\geq 15,5$	$\geq 16,5$
Kokoonpuristuma,	%	$< 1,1$	$< 1,5$		
40°C, 1h, 0,1MN/m ²					
Kulutuskestävyys,	cm ³	≤ 20	≤ 20		
Tröger D-arvo					
Vedenkestävyys	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60
PTL Q-arvo					

Käyttökohdeluokka I: Päällystettä käytetään kohteissa, joissa on erityisen suuri deformaatoriski. Kiviaines on suhteitettava murskatusta aineksesta tiiviskäyräiseksi. Bitumina käytetään bitumia B 80 tai B 65. Tarvittaessa käytetään bitumia, jonka PI $\geq +0,5$ tai bitumi modifioidaan.

Käyttökohdeluokka II: Päällystettä käytetään kohteissa, joissa on suuri nastarengaskulutus, mutta ei erityisen suuri deformaatoriski. Kiviaineksen tulee olla kulutusta hyvin kestävä. Bitumina käytetään Etelä-Suomessa normaalisti bitumia B 80, muualla bitumeja B 120 - B 180.

Käyttökohdeluokka III: Päällystettä käytetään tyypillisesti valta- ja kantateiden kulutuskerrospäällysteenä. Bitumina käytetään bitumia B 80 - B 250.

Käyttökohdeluokka IV: Vähäliikenteisten teiden päällyste. Hyvä säänkestävyys on tärkein ominaisuus.

TAULUKKO 6.2 Asfalttibetonin suhteitusvaatimukset, epäjatkuva kiviaineskäyrä, Marshall-koestus

Käyttökohdeluokka		I	II	III
Liikennemäärä				
-kokonaisajon./vrk		≥ 5000	≥ 5000	≥ 1000
-raskaita - " -		≥ 1000	1000-500	
Tiivistys,	iskua	75+75	50+50	50+50
Stabiliteetti,	kN	$\geq 6,0$	$\geq 4,5$	$\geq 4,0$
Stab./Flow-sushde	kN/mm	1,0-3,5	1,0-3,5	1,0-3,5
Täyttöaste	til-%	70-85	70-85	70-90
Tyhjätila	"	3-	2-5	2-5
Kiviaineksen tyhjätila	"	15-20	15-20	15-20
Kokoonpuristuma	%	$< 1,1$	$< 1,5$	
40°C, 1h, 0,1MN/M ²				
Kulutuskestävyys	cm ³	≤ 20	≤ 20	≤ 20
Tröger D-arvo				
Vedenkestävyys	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60
PTL Q-arvo				

TAULIKKO 6.3 Vettä läpäisevän asfalttibetonin suhteitusvaatimukset, Marshall-koestus

Käyttökohdeluokka		I	II
Liikennemäärä			
-kokonaisajon./vrk		≥ 5000	≥ 5000
-raskaita - " -		≥ 1000	1000-500
Tiivistys,	iskua	50+50	50+50
Stabiliteetti,	kN	$\geq 4,0$	$\geq 3,5$
Stab./flow	kN/mm	1,5-3,0	1,5-3,0
Kiviaineksen tyhjätila	til-%	≥ 25	≥ 25
Tyhjätila ¹⁾	"	12-20	12-20
Bitumifilmin paksuus	μm	≥ 10	≥ 10
Kokoonpuristuma 40°C, 1h, 0,1MN/m ²	%	$\leq 1,5$	$\leq 1,5$
Kulutuskestävyys, Tröger D-arvo	cm ³	≤ 20	≤ 20
Vedenkestävyys, PTL Q-arvo	%	≥ 75	≥ 75

6.3 Öljysoran suhteitus

Öljysoramassan suhteituksessa varmistetaan, että kiviaineksessa on riittävästi tyhjättilaa sideaineelle ja kiviaineksen sisältämälle vedelle. Öljysoran suhteitukselle ei ole olemassa normitettuja tai yleisesti käytettyjä menetelmiä.

6.31 Kiviaineksen tyhjättilan määrittäminen

Kiviaineksen tyhjättila määritetään samalla tavalla kuin asfalttibetonilla. Öljysorakoekappale ei pysy koossa, joten irtotiheyden määrittäminen on tavanomaiseen tapaan mahdoton. Irtotiheyden määrittämiseen on olemassa kaksi mahdollisuutta. Kokemuksien perusteella päätetään mitä menetelmää tullaan lopullisesti käyttämään.

Jäähdyttäminen: Tiivistetty koekappale jäähdytetään + 5 °C:n lämpötilaan ja irtotiheys määritetään tässä lämpötilassa menetelmän ASTM D 1188 mukaisesti.

Korvaavan sideaineen käyttö: Koekappale saadaan pysymään kasassa, kun bitumiöljy korvataan kovemmalla sideaineella. Sekoitustilassa tällä tulee olla sama viskositeetti kuin bitumiöljyllä, jotta tiiveys vastaisi öljysoran tiiveyttä. Tällaisena korvaavana sideaineena on Neste OY:ssä kokeiltu kovaparafiinia.

6.32 Sideainepitoisuuden valinta

Sideainepitoisuus valitaan normitettujen ohjeiden mukaiseksi. Massan tulee lisäksi täyttää taulukossa 6.4 esitetyt vaatimukset.

6.33 Vedenkestävyyden tarkistus

Öljysoramassan vedenkestävyys tarkistetaan MYR-kokeella. Huomattava on, että kokeessa saadaan huono tulos myös, jos sideainepitoisuus on ko. kiviaineksellemme liian suuri.

TAULUKKO 6.4 Öljysoran suhteitusvaatimukset

	ös 16	ös 18	ös 20
Kiviaineksen tyhjätila til-%	$\geq 17^{1)}$	$\geq 16^{1)}$	$\geq 15^{1)}$
Täyttöaste sideaine + vesi	60-75	60-75	60-75

1) alarajalla oleva kiviaines joudutaan yleensä
kuivaamaan tai öljysora massa "tuulettamaan" tiellä
ennen tiivistämistä

KIRJALLISUUTTA

1. Nordisk Vegteknisk Forbund, Utvalg 33: Materialegenskaper og funktioskrav for varmblandede dekker og baerelag, 1985.
2. P. Frostman; B. Simonsson: Massasammansättningens och packningsgradens inverkan på hållbarheten hos asfaltbetong; rapport till NVF's förbundsutskottsmöte i Stockholm 1984.
3. The Asphalt Institute: Mix design methods for asphalt concrete and other hot-mix types, Manual Series N:o 2, 1984.
4. Asphalt paving mixtures, properties, design and performance, prepared for the short course in asphalt paving technology, 1961-1962 by Carl L. Monismith.
5. Maksimiraekoetie 1984; VTT:n yhteenveto tuloksista TVH:lle.
6. Nurmijärven päällystekoetie v. 1979, loppuraportti, VTT:n tutkimusselostus 507 1985.
7. Slitageundersökningar Asfaltbetong; Samarbetet Neste-Nynäs, 1978.
8. J. P. Tarris; Characterization and specification of baghouse fines; Proc.A.A.P.T. Vol 52, 1983.
9. W. Heukelom, J. W. Ewers: Die Erhöhung der Viskosität von Bitumen durch die Zugabe von Füller; Strasse und Autobahn 2, 1964.
10. L. Franken, C. Moraux: Influence of fillers on the characteristics of the consistency of bituminous mastics; Eurobitume Symposium 1985.
11. M. L. Pigois: Comparative study of some rutting tests; Eurobitume Symposium 1985.
12. J. Huet, J. Verstraeten: Study of the results of splitting tensile tests on road cores; Eurobitume Symposium 1985.
13. G.R. Pooley: The design of bituminous mixes; Residential course on analytical design of bituminous pavements, University of Nottingham, 1984.
14. K. E. Cooper, P.S. Pell: The effect of mix variables on the fatigue strength of bituminous materials; TRRL Laboratory Report 633 1974.
15. Ulf Isacsson: Vidhäftning i bituminösa beläggningar, en litteraturutredning; TVI Meddelande N:o 6 1976.

16. Laboratoriemetoder för bedömning av bituminösa beläggningsars vattenkänslighet; NVF Rapport N:o 11 1983.
17. W. D. Powell, D. Leech: Standards for compaction of dense road-base macadam; TRRL Supplementary Report 717, 1982.
18. H. Motz: Laboratory investigations to assess the compactibility and the resistance to permanent deformation of asphaltic concrete by static and dynamic test methods; Eurobitume Symposium 1985.
19. W. Arand: Reflections upon the degree of compaction; Eurobitume Symposium 1985.
20. S. F. Brown, K.E. Cooper, G. R. Pooley: Mechanical properties of bituminous materials for pavement design; Eurobitume Symposium 1981.
21. J. Marvillet, P. Bougault: Workability of bituminous mixes: Development of a workability meter; Eurobitume Symposium 1978.
22. Vegdirektoratet, Veglaboratoriet: internrapport 990, Aug. 1981
23. Institut für Strassen-, Eisenbahn- und Felsbau an der Eidg. Techn. Hochschule Zürich; Mitteilung 37, Nov. 1977.
24. The Asphalt Institute: Mix Design Methods for Open Graded Asphalt Friction Courses, MISC-78-3.
25. Asfalttibetonimassojen suhteitus halkaisuvetolujuuskokeen avulla; Neste OY Tutkimuskeskus, tutkimusselostus 14/1982.
26. British Standard BS 594;1973: Specification for rolled asphalt (hot process) for roads and paved areas.
27. F. M. Akeroyd et al.: Mix design to resist rutting in rolled asphalt wearing courses; Eurobitume Seminar 1978.
28. Kiviaineksen rakeisuuden vaikutus asfalttipäällysteen kulumiseen; VTT:n Tiedonanto 11/1974.
29. Deformationsundersökningar Asfaltbetong; Samarbetet Neste-Nynäs 1982.
30. Päällysteen kulumiseen vaikuttavat tekijät; VTT:n tutkimusselostus 486, 1985.
31. Forsøksdekker Store Ringvei 1978, Slitasjedataperioden 1978-1980; SINTEF Rapport STF61A82017.

32. Tienpäällysteen plastiset deformaatiot; VTT:n tutkimusselostus 212/1981.
33. E. K. Hansen: Steinkvalitetens betydning for piggdekkslitasje; Våre Veger nr 5, 1983.
34. Matti Huhtala: Massan suhteitus; Päällystekurssit 1986, AUL.

SUHTEITUSESIMERKKI

Päällystetyyppi AB 18 V 80 kg/m²
 Käyttökohdeluokka I

1. Materiaalit	osuus	tiheys	menetelmä
Sepelilajite 2 - 18 mm	54,3 p-%	2,909 kg/dm ³	ASTM C 127
- " - 0 - 2 "	38,2 "	2,880 "	" " C 128
Filleri	7,5 "	2,742 "	" " D 854
Bitumi B 80		1,02 "	" " D 70
- tunkeuma 90			
- pehm. piste 48 °C			

2. Kiviaineksen tiheys (bulk)

$$G_{sb} = \frac{54,3 + 38,2 + 7,5}{\frac{54,3}{2,909} + \frac{38,2}{2,880} + \frac{7,5}{2,742}} = 2885 \text{ kg/m}^3$$

3. Arvioidaan optimisideainepitoisuuden olevan luokkaa 5,0 p-%

(normaali 5,7 p-%, tässä raskas kiviaines $\frac{5,7 \times 2,65}{2,885} = 5,2$)

4. Tehdään koekappaleet pitoisuuksilla 4,0; 4,5; 5,0; 5,5 ja 6,0 p-%. Sekoituslämpötila on 155 °C ja tiivistyslämpötila 145 °C, 75+75 iskua. (normien viskositeetti - lämpötila-käyrästä, viskositeetteja 170 \pm 20 ja 280 \pm 20 mm²/s vastaavat lämpötilat)
5. Punnitaan koekappaleet ilmassa, vedellä kyllästettynä vedessä ja pintakuivina ilmassa. Menetelmä on ASTM D 2726. Vaihtoehto olisi käyttää menetelmää D 1188, parafinoidut koekappaleet. Tulokset on merkitty taulukkoon 1, sarakkeet 3 - 5.
6. Määritetään koekappaleiden Marshall-stabiliteetti ja -flow. Lasketaan kappaleiden korkeudella korjattu stabiliteetti ja Marshall-suhde. Tulokset on taulukossa, sarakkeet 7 - 10.
7. Määritetään eri bitumipitoisuuksilla tehdyjen koekappaleiden kiintotiheys (massan tiheys). Menetelmä on ASTM D 2041. Vaihtoehtomenetelmä olisi pygnomertimentelmä, mutta tässä tapauksessa se ei käy, koska ei tiedetä absorpoiko kiviaines bitumia. Kiintotiheys tehdään yhdistetyistä koekappaleista kullakin bitumipitoisuudella. Tulokset on taulukossa, sarake 11.

8. Lasketaan koekappaleiden irtotiheys (päällysteen tiheys).
Irtotiheys saadaan koekappaleiden punnitustuloksista:
Irtotiheys $G_{mb} = m_1/m_3 - m_2$. Lasketaan keskiarvot eri bitumipitoisuuksille. Tulokset on taulukossa, sarake 12.

9. Lasketaan kiviaineksen efektiivinen kiintotiheys G_{se} .

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm}}{P_{mm}} - \frac{P_b}{P_b}}{\frac{G_{mm}}{G_{mm}} - \frac{G_b}{G_b}}$$

P_{mm} = koko massan paino-osuus = 100 %

P_b = bitumin osuus massasta, p-%

G_{mm} = massan kiintotiheys kg/m³

G_b = bitumin kiintotiheys "

Koska bitumin imeytyminen kiviaineksen huokosiin on riippumaton bitumipitoisuudesta, on kiviaineksen efektiivinen tiheys sama kaikilla koekappaleilla. Se lasketaan esim. kolmella eri bitumipitoisuudella ja näiden keskiarvoa käytetään efektiivisenä tiheytenä. Tulokset on taulukossa, sarake 13.

Esimerkissämme määritettiin massan kiintotiheys kaikilla bitumipitoisuuksilla. Voidaan menetellä myös niin, että massan kiintotiheys G_{mm} määritetään vain kolmella bitumipitoisuudella ja muiden bitumipitoisuuksien kiintotiheys lasketaan kiviaineksen efektiivisen kiintotiheyden G_{se} perusteella seuraavalla kaavalla:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

P_s = kiviaineksen osuus massasta, p-%

Taulukkoon on vertailun varten merkitty myös lasketut massan kiintotiheydet, sarake 14.

10. Lasketaan kiviainekseen imeytyvä bitumimäärä P_{ba}

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}}$$

P_{ba} = imeytynyt bitumi p-% kiviaineksen määrästä

G_{se} = kiviaineksen efektiivinen kiintotiheys

G_{sb} = kiviaineksen kiintotiheys (bulk), kohta 1.

Kiviainekseen imeytyy esimerkkitapauksessamme

$$P_{ba} = \frac{2899 - 2885}{2885 \times 2899} = 0,16 \text{ p-\% kiviaineksen määrästä.}$$

11. Lasketaan efektiivinen bitumipitoisuus P_{be} .

Kiviaines imee esimerkkitapauksessamme niin paljon bitumia, että kivirakeiden liimaamiseen jää lisättyä vähemmän bitumia, mikä vaikuttaa massan tilavuussuhteisiin. Efektiivinen bitumipitoisuus lasketaan kaavalla

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_s$$

P_{be} = efekt. bitumimäärä p-% massasta
 P_b = bitumipitoisuus p-% massasta
 P_{ba} = imeytynyt bitumimäärä p-% kiviaineksesta
 P_s = kiviaines p-% massasta

Efektiiviset bitumipitoisuudet on merkitty taulukkoon, sarake 15.

12. Lasketaan kiviaineksen tyhjätila VMA.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

VMA = kiviaineksen tyhjätila
 G_{mb} = massan irtotiheys, sarake 12
 P_s = kiviaineksen osuus p-%
 G_{sb} = kiviaineksen tiheys (bulk) kohta 1

Kiviaineksen tyhjätilat on laskettu taulukkoon, sarake 16.

13. Lasketaan(efektiivisen)bitumin määrä tilavuusprosentteina P_{bv}

$$P_{bv} = \frac{G_{mm}}{G_b} \times P_{be}$$

P_{bv} = bitumin määrä til-% massan (koekappaleiden) tilavuudesta
 G_{mm} = massan kiintotiheys, sarake 11
 G_b = bitumin tiheys, kohta 1
 P_{be} = efekt. bitumipitoisuus p-% massasta

Jos kiviaines ei ime merkittävästi bitumia, kuten asia on usein suomalaisilla kiviaineksilla, käytetään yllä olevassa kaavassa P_{be} :n tilalla lisättyä bitumipitoisuutta P_b .

Efektiivisen bitumimäärän tilavuusosat on laskettu taulukkoon, sarake 17.

14. Lasketaan täyttöaste $P_{b\%VMA}$

Täyttöaste lasketaan esimerkkitapauksessamme efektiivisen bitumimäärän suhteen.

$$P_{b\%VMA} = 100 \times \frac{P_{bv}}{VMA}$$

Täyttöasteet on laskettu taulukkoon, sarake 18.

15. Lasketaan koekappaleiden tyhjätila P_a

$$P_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$$

P_a = koekappaleen tyhjätila

G_{mm} = massan kiintotiheys,
sarake 11

G_{mb} = massan irtotiheys,
sarake 12

Lasketut tyhjätilat on merkitty taulukkoon, sarake 19.

Tyhjätila saadaan myös lausekkeesta $P_a = VMA - P_{bv}$. Tällä kaavalla saatu tulos poikkeaa hieman edellisistä, koska VMA:ta ja P_{bv} :tä laskettaessa on tuloksia pyöristetty. Yllä oleva kaava antaa tarkempia tuloksia.

16. Määritellään optimisideainepitoisuus

Tätä varten ensimmäiseksi piirretään bitumipitoisuuden funktiona Marshall-stabiliteetti, -flow ja -suhde sekä massan irtotiheys, VMA, täyttöaste, tyhjätila ja bitumipitoisuus tilavuusprosentteina, kuvat 1 - 8.

Kuvista luetaan maksimistabilitettia ja koekappaleiden maksimitiheyttä vastaavat sideainepitoisuudet sekä sallitun tyhjätila-lueen ja sallitun flow-alueen keskikohtaa vastaavat bitumipitoisuudet (taulukko 6.1). Lasketaan näin saatujen bitumipitoisuuksien keskiarvo

maksimistabiliteetti	4,85 p-%
maksimi tiheys	5,10 "
flow 3 mm	5,25 "
tyhjätila 4 til-%	4,40 "
ka	4,90 p-%

Bitumipitoisuutta 4,90 p-% pidetään alustavasti optimisideainepitoisuutena. Tällä pitoisuudella on suhteituksessa saatu tiivistetylle massalle seuraavat ominaisuudet:

Marshall-stabiliteetti	8,5 kN
- " - flow	2,3 mm
- " - suhde	3,3 kN/mm
tyhjätila	2,4 til-%
kiviaineksen tyhjätila	14,5 "
täyttöaste	87 %
päällysteen tiheys	2597 kg/m ³

17. Testataan suhteituksen perusteella saadun massan käyttökelpoisuus

Bitumipitoisuudella 4,90 p-% tehty massa ei täytä suhteitusvaatimuksia täyttöasteen ja tyhjätilan suhteen. Kiviaineksen tyhjätila on juuri sallitulla rajan alapuolella.

Täyttöasteen ylitys ja vastaavasti tyhjätilan alitus ei ehkä sinänsä vielä ole vaarallista deformaation kannalta, koska kiviaines on kalliomursketta eikä sisällä luonnon hiekkaa. Stabiliteetti ja Marshall-suhde ovat hyvät. Kun bitumipitoisuus näyttää suuresti vaikuttavan täyttöasteeseen, on ilmeisesti aiheutta tarkistaa deformaatiokestävyys staattisella creep-testillä.

Massan kiviaines on hyvin tiivis, kiviaineksen tyhjätila alittaa hieman rajan, jolla vielä katsotaan saatavan riittävän paksu bitumikalvo kivien pintaan. Kiviaines on jonkin verran huokoista. Näistä syistä on syytä epäillä, että vedenkestävyys ei ole riittävän hyvä. Kiviaines ei ole tavanomainen mm. tiheys on paljon tavanomaista suurempi. Saatu optimisideainepitoisuus ei sinänsä ole vielä kovin alhainen, kun otetaan huomioon kiviaineksen tiheys. Bitumipitoisuus 4,9 p₃% vastaa tavallisella kiviaineksella, tiheys 2650 kg/m³, pitoisuutta 5,3 p-%. Massan vedenkestävyys on syytä tarkistaa, esim. PTL:n ehdottamalla tavalla.

Täysin murskattu kiviaines, hyvin tiivis rakeisuus ja alhainen bitumipitoisuus aiheuttavat sen, että massa on ilmeisesti vaikea tiivistää. Tiivistettävyyttä tulisi siis varmuuden vuoksi tarkistaa. Riittävän tiivistettävyyden varmistaminen on tärkeää myös siksi, että suunniteltu massamäärä 80 kg/m² jäähtyy nopeasti.

Kiviaineksen kulutuskestävyys voi olla huono, vaikka sen lujuusominaisuudet ovatkin normaalit; kiviaines on huokoinen ja sen märkäkulutuskestävyys voi olla tavanomaista heikompi. Kulutuskestävyys on siis tarkistettava esim. Tröger-kulutuskokeella.

Tiivistettynä edellä oleva arvio tarkoittaa sitä, että ko. kiviaineksen käyttökelpoisuuden suhteen on vahvoja epäilyjä. Käytännössä tässä tapauksessa kiviaines suhteitettaisiin ensimmäiseksi uudelleen siten, että kiviaineksen tyhjätila tulee suuremmaksi, jotta bitumipitoisuutta voidaan nostaa. Tämä saadaan aikaan hiekkalisäyksellä. Korjatulla kiviaineksella suoritetaan sitten suhteitus uudelleen.

18. Arvioidaan suhteitetun päällysteen elastisuusmoduli (jäykkyys lyhyellä kuormitusajalla), päällysteen väsymislujuus ja pakkas-halkeamalämpötila

A. Alkuperäinen bitumi:

- tunkeuma 90
 - pehmenmispiste 48 °C
- Kuvasta 9 voidaan lukea penetraatioindeksi $PI = -0,5$

B. Päällysteessä oleva bitumi (kovettunut massan valmistuksessa)

Arvioidaan:

- tunkeuma 65 % alkuperäisestä = 59
- penetraatioindeksi $PI = -0,3$ (nousee yleensä hieman)

Kuvasta 9 voidaan lukea $T_{800} = 53\text{ °C}$

C. Päällysteessä olevan bitumin jäykkyysmoduli ($T_{25\text{°C}}$ ja $T_{0\text{°C}}$; $t_{0,05\text{s}}$)

- tunkeuma 59
 - $PI -0,3$
 - $T_{800} 53\text{ °C}$
- lämpötila 25 °C ($53\text{°C} - 25\text{°C}$) = 28 °C below T_{800}
 - " - 0 °C ($53\text{°C} - 0\text{°C}$) = 53 °C - " - "

Kuvasta 10 voidaan lukea $S_b = 8 \times 10^6\text{ N/m}^2$ ($T = 25\text{°C}$, $t = 0,05\text{s}$)
 $S_b = 2 \times 10^8\text{ N/m}^2$ ($T = 0\text{°C}$, $t = 0,05\text{s}$)

D. Päällysteen elastisuusmoduli (jäykkyysmoduli)

- bitumin jäykkyys: $8 \times 10^6\text{ N/m}^2$ ($T_{25\text{°C}}$, $t_{0,05\text{s}}$)
 2×10^8 " ($T_{0\text{°C}}$, $t_{0,05\text{s}}$)
- bitumin tilavuusmäärä 12,3 til-% (kuva 8)
- tyhjätila 2,4 til-% (kuva 7)
- kiviaineksen tilavuusmäärä 85,3 til-% ($100 - (12,3 + 2,4)$)

Kuvasta 11 voidaan lukea $S_m = 2 \times 10^9\text{ N/m}^2$ ($T = 25\text{°C}$, $t = 0,05\text{s}$)
 $S_m = 1 \times 10^{10}$ " ($T = 0\text{°C}$, $t = 0,05\text{s}$)

E. Päällysteen väsymislujuus

- bitumin pehmenemispiste 53 °C (kohta 18 C)
- bitumin tilavuusmäärä 12,3 til-% (kuva 8)

Kuvasta 12 voidaan lukea:

- jos alkuvenymä on 5×10^{-5} , niin päällyste kestää noin 10^7 taivutusta
- jos alkuvenymä on 10×10^{-5} , niin päällyste kestää noin 3×10^5 taivutusta

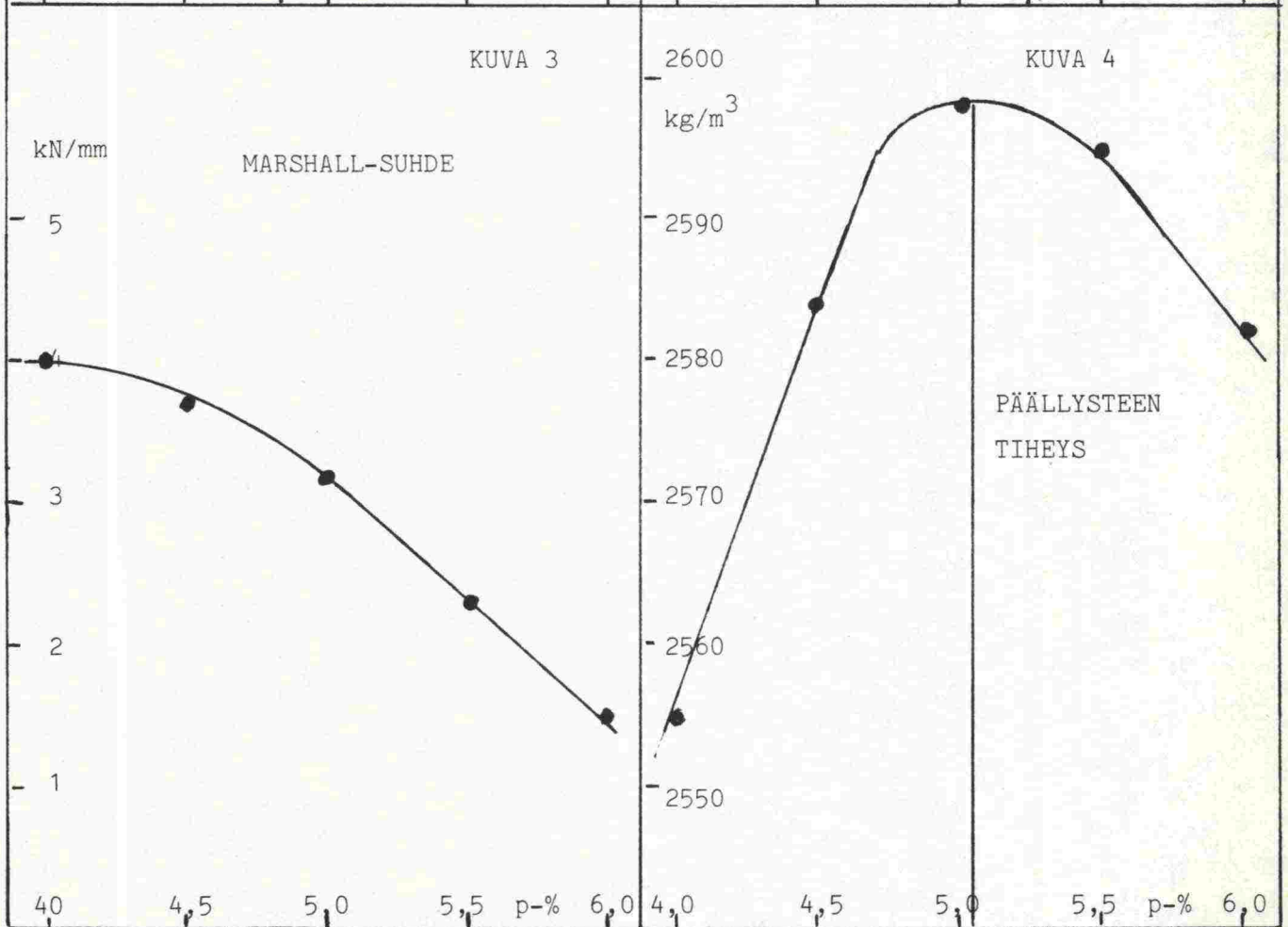
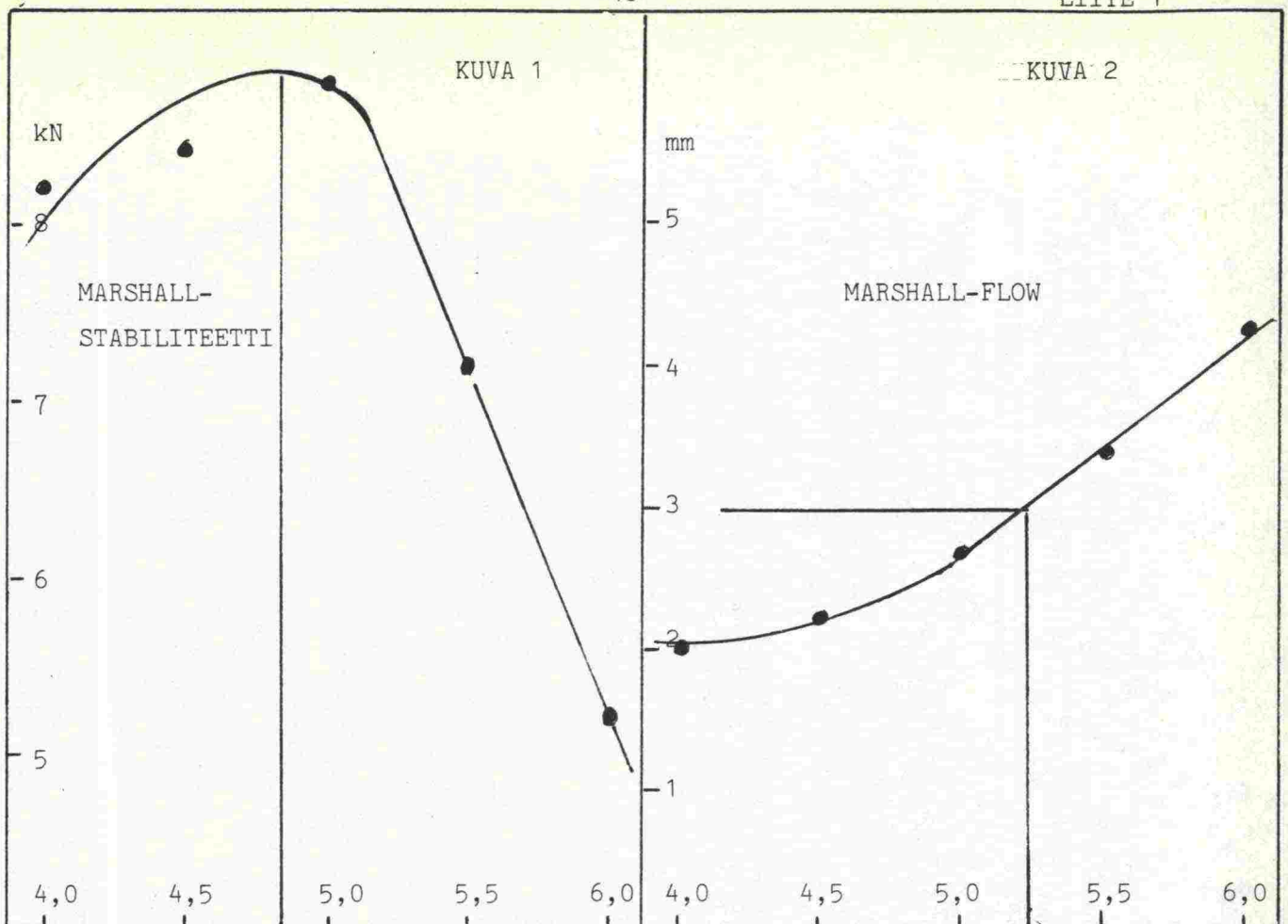
F. Päällysteen pakkashalkeamalämpötila

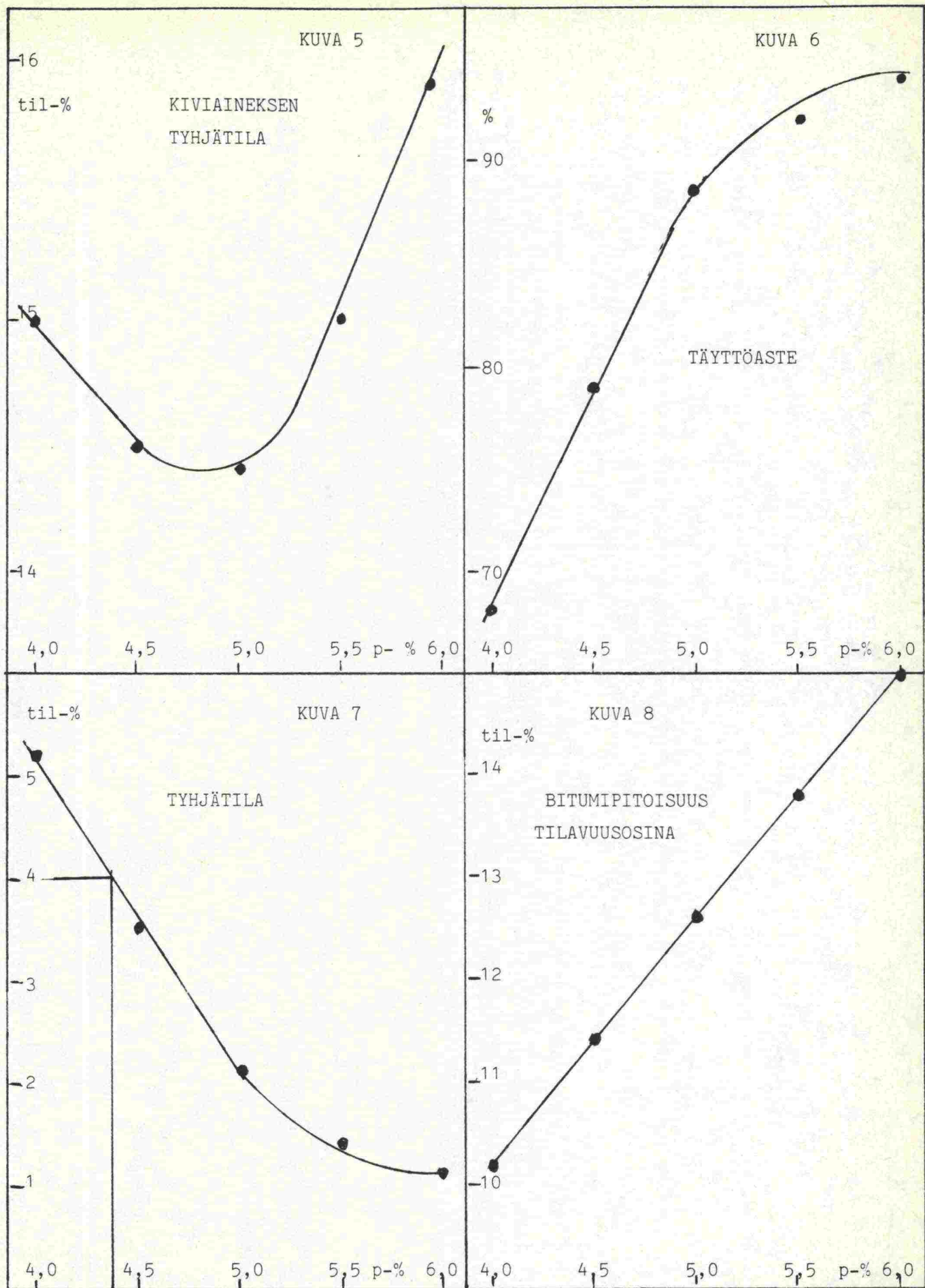
- bitumin tunkeuma 59
- PI -0,3
- T_{800} 53°C
- kriteeri 1×10^9 N/m² kuormitusajalla 0,5 h

Kuvasta 10 voidaan lukea lämpötila, jossa bitumi saavuttaa kriiteerinä olevan jäykkyysmodulin. Tämä lämpötila on 99 °C alle T_{800} -lämpötilan. Lämpötila, jonka alapuolella on odotettuvissa pakkas-
katkoja on 53°C - 99°C = - 46°C.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Koe- kappale	Bitumi seoksesta	Bitumi kiviain.	Paino ilmassa	Paino vedessä kyllästetty	Paino ilmassa kyllästetty	Marshall-koestus			
			m_1	m_2	m_3	stab.	korj. stab.	flow	flow/stab.
n:o	p-%	p-%	g	g	g	kN	kN	mm	kN/mm
1	4,0	4,17	1306,8	798,6	1310,6	7,962	7,962	2,0	4,0
2	"	"	1309,5	800,7	1313,8	8,051	8,051	2,0	4,0
3	"	"	1309,6	803,0	1314,1	8,229	8,229	2,0	4,1
							ka8,081	ka2,0	ka4,0
4	4,5	4,71	1315,3	808,5	1317,5	8,451	8,451	2,0	4,2
5	"	"	1315,1	808,9	1317,2	7,717	8,024	2,5	3,2
6	"	"	1311,6	801,8	1309,9	8,051	8,371	2,0	4,2
							ka8,282	ka2,2	ka3,7
7	5,0	5,26	1320,1	812,7	1320,7	8,340	8,340	2,8	3,0
8	"	"	1318,1	811,3	1318,4	8,512	8,789	2,5	3,5
9	"	"	1318,7	811,4	1319,1	7,739	8,050	2,5	3,2
							ka8,393	ka2,6	ka3,2
10	5,5	5,82	1320,5	811,6	1320,6	7,940	7,940	3,3	2,4
11	"	"	1326,1	814,9	1326,2	7,495	7,495	3,5	2,1
12	"	"	1324,2	814,8	1324,4	7,495	7,495	3,3	2,3
							ka7,643	ka3,4	ka2,3
13	6,0	6,38	1327,6	813,7	1327,7	6,628	6,628	4,3	1,5
14	"	"	1330,7	815,6	1330,9	6,405	6,405	4,3	1,5
15	"	"	1329,3	814,4	1329,3	7,028	7,028	4,3	1,6
							ka6,687	ka4,3	ka1,5

	11	12	13	14	15	16	17	18	19	2
Massan kiinto- tiheys	Massan irto- tiheys	Kiviain. efekt. tiheys	Massan lask.kiinto- tiheys	Efekt. bitumi- pitoisuus	Kiviain. tyhjä- tila	Efekt. bitumin til.osuus	Täyttö- aste	Päällysteen tyhjätila	Bitumi seokses ta	
G_{mm}^3 kg/m ³	G_{mb}^3 kg/m ³	G_{se}^3 kg/m ³	G_{mm}^3 kg/m ³	P_{be} p-%	VMA til-%	P_{bv} til-%	$P_{b\%VMA}$ %	P_a til-%	p-%	
2695	2552 2552 2562 ka2555		2700	3,85	15,08 15,08 14,75 ka15,0	10,2	68	5,2	4,0 " "	
2678	2584 2587 2581 ka2584	2900	2677	4,35	14,46 14,36 14,56 ka14,5	11,4	79	3,5	4,5 " "	
2654	2599 2599 2597 ka2598	2898	2654	4,85	14,42 14,42 14,48 ka14,4	12,6	88	2,1	5,0 " "	
2632	2594 2593 2599 ka2595	2899	2632	5,35	15,03 15,03 14,87 ka15,0	13,8	92	1,4	5,5 " "	
2612	2583 2582 2582 ka2582		2610	5,85	15,84 15,87 15,87 ka15,9	15,0	94	1,1	6,0 " "	



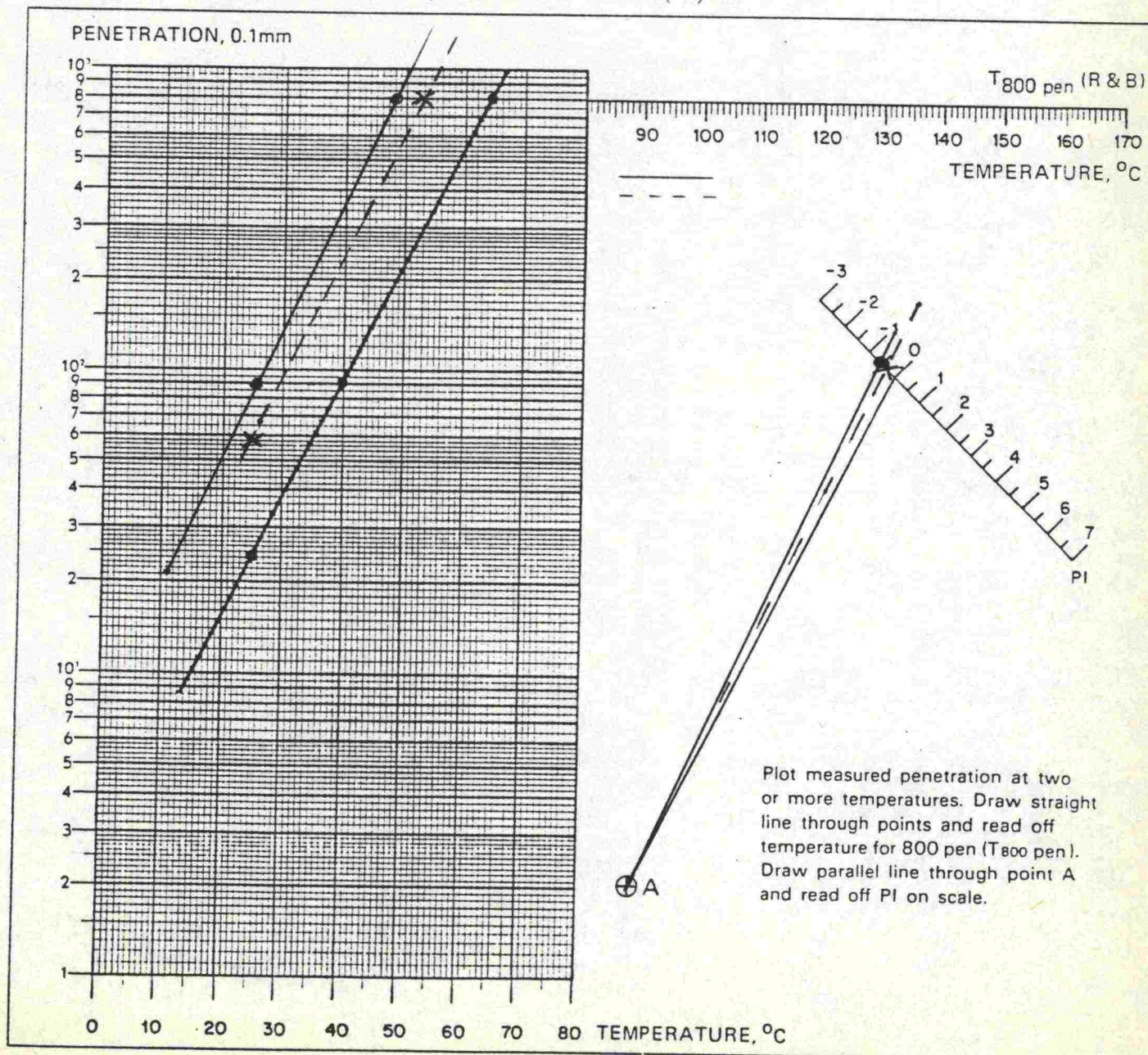


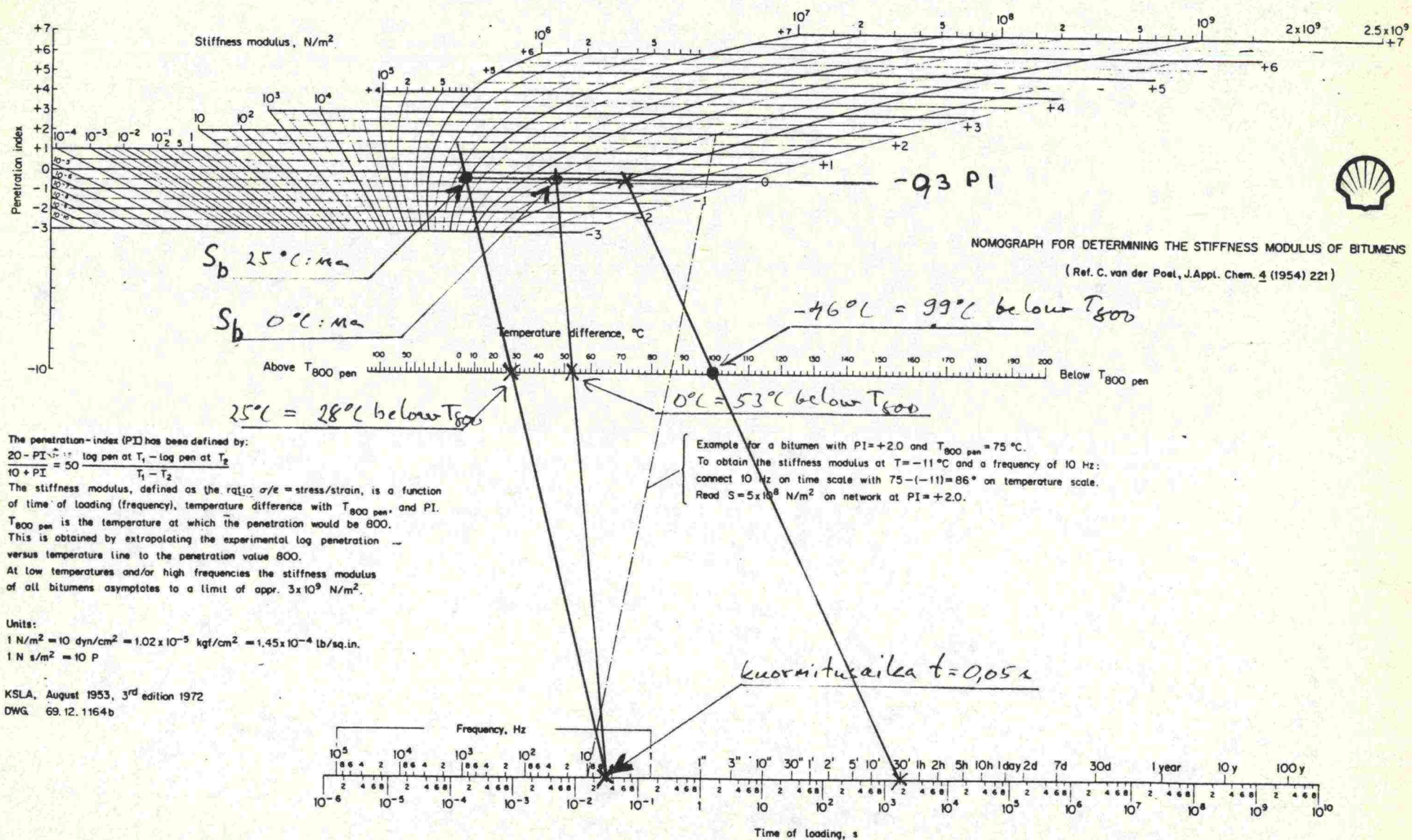
LIITE 1

KUVA 9



Figure 1 Chart for determination of $T_{800 \text{ pen}}$ and Penetration Index (PI)





The penetration-index (PI) has been defined by:

$$\frac{20 - PI}{10 + PI} = \frac{\log \text{pen at } T_1 - \log \text{pen at } T_2}{T_1 - T_2}$$

The stiffness modulus, defined as the ratio σ/ϵ = stress/strain, is a function of time of loading (frequency), temperature difference with $T_{800 \text{ pen}}$ and PI.

$T_{800 \text{ pen}}$ is the temperature at which the penetration would be 800.

This is obtained by extrapolating the experimental log penetration versus temperature line to the penetration value 800.

At low temperatures and/or high frequencies the stiffness modulus of all bitumens asymptotes to a limit of appr. $3 \times 10^9 N/m^2$.

Units:

$$1 N/m^2 = 10 \text{ dyn/cm}^2 = 1.02 \times 10^{-5} \text{ kgf/cm}^2 = 1.45 \times 10^{-4} \text{ lb/sq.in.}$$

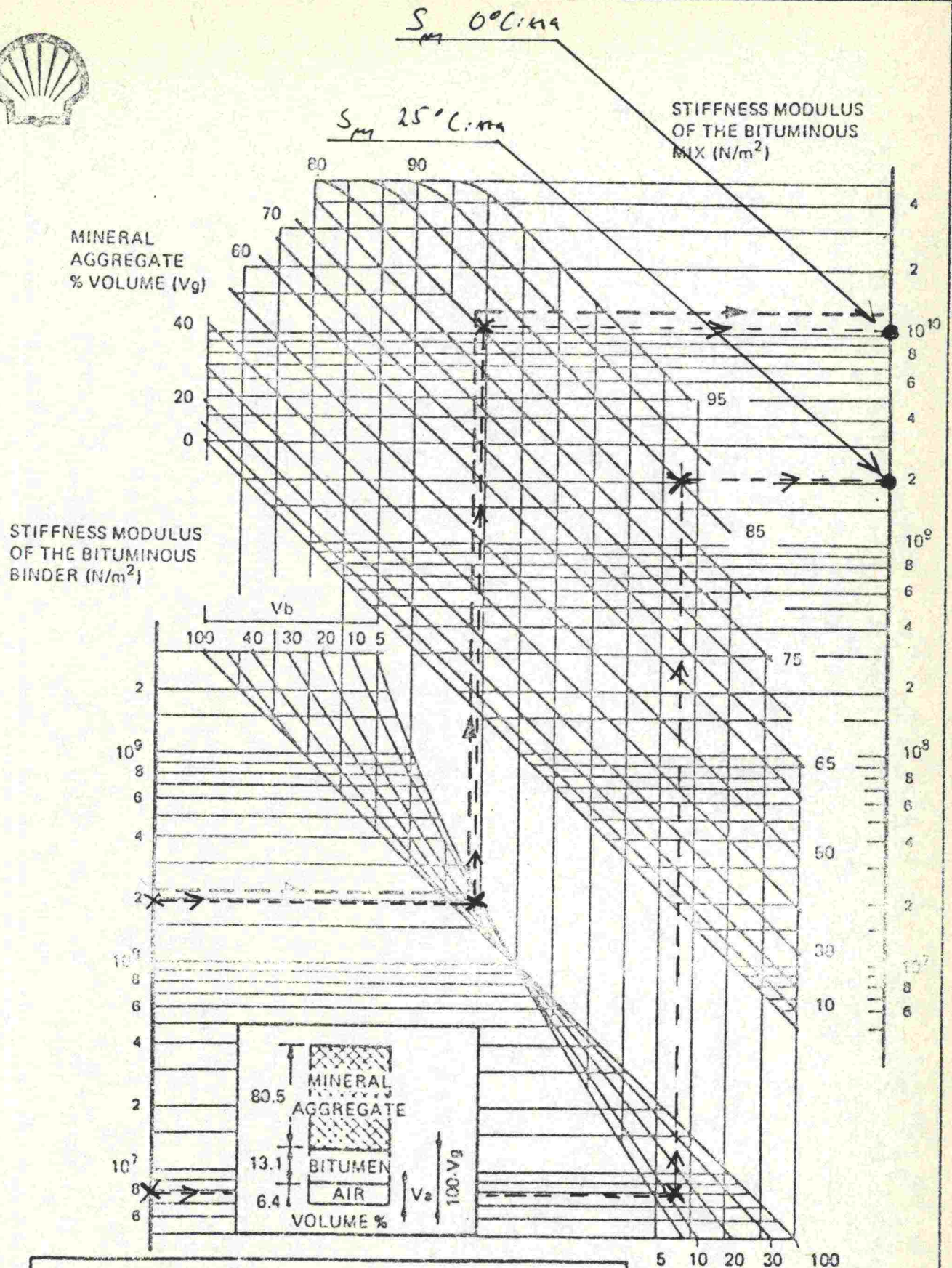
$$1 N \cdot s/m^2 = 10 P$$

KSLA, August 1953, 3rd edition 1972

DWG. 69.12.1164b

Figure 6 – Nomograph for determining the Stiffness Modulus of Bitumens





E.g: STIFFNESS MODULUS OF THE RECOVERED BINDER $2 \times 10^8 \text{ N/m}^2$
 V_b : VOLUME OF BINDER 13.1%
 VOLUME OF MINERAL AGGREGATE 80.5%

STIFFNESS MODULUS OF THE MIX $1.1 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$

BITUMINOUS BINDER % VOLUME (V_b)

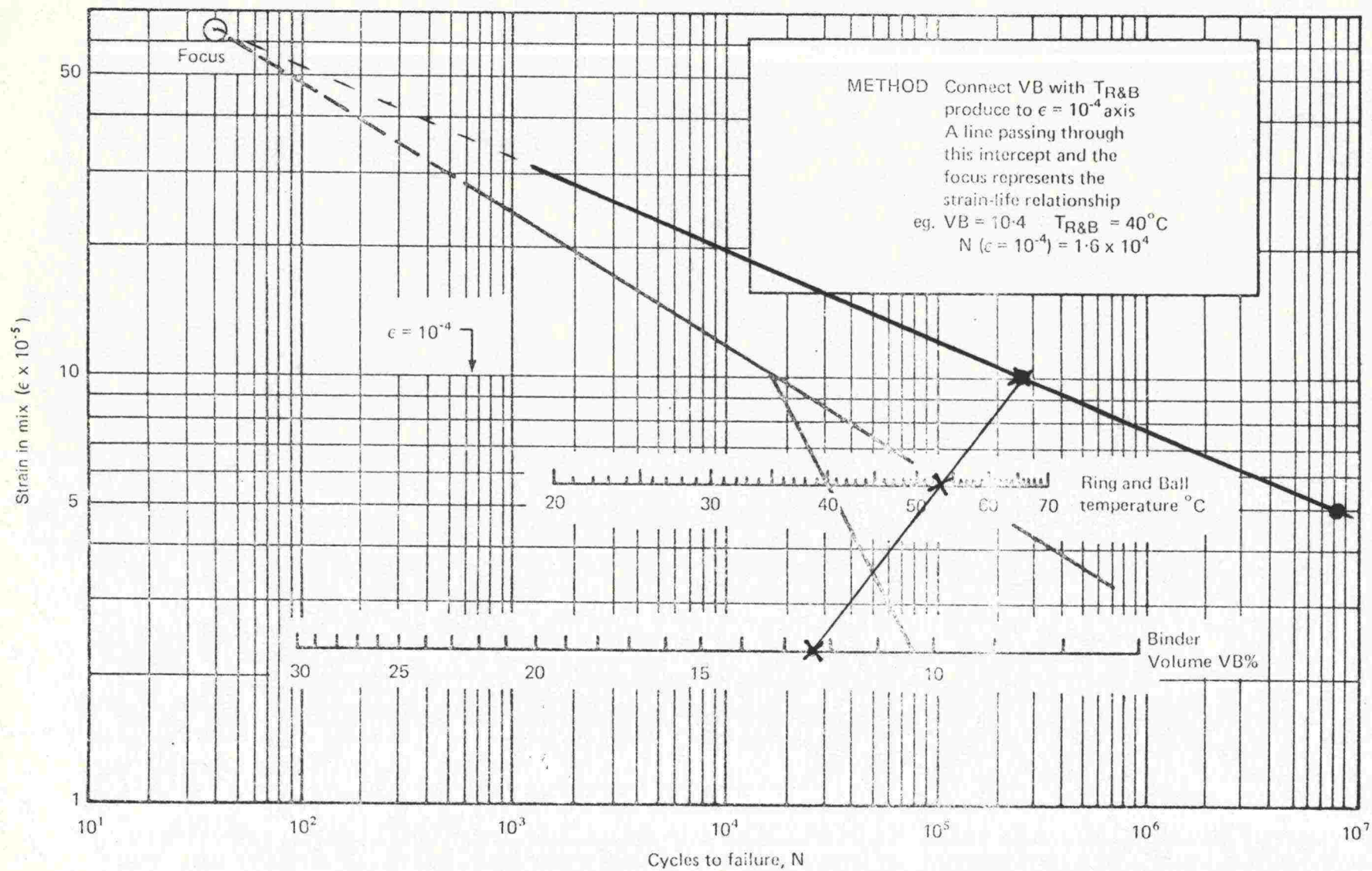


FIG. 37 NOMOGRAPH FOR PREDICTION OF FATIGUE PERFORMANCE

TANSKAN SUHTEITUSVAATIMUKSET

		GAB 0 ¹⁾	AB 8	AB 16	SMA 16 ²⁾
Stabiliteetti,	kN	<u>≥3,5</u>	<u>≥5,0</u>	<u>≥6,0</u>	-
Flow	mm	1,0-4,0	1,0-4,0	1,0-4,0	-
Tyhjättila	til-%	1 - 6	1 - 6	1 - 6	-
Täyttöaste	%	<u>≥70</u>	72-92	75-95	<u>≥78</u>
Kiviaineksen tyhjätila	til-%	-	-	-	<u>≥16,5</u>
Bitumipitoisuus	p-%	<u>≥4,9</u>	-	-	-

1) kantavan kerroksen yläosa

2) Epäjatkuva käyrä, kulutuskerrospäällyste

NORJAN SUHTEITUSVAATIMUKSET

	AG	AB 22 t	
Liikennemäärä kvl	-	>10000	<10000
Tiivistys, iskua	75+75	75+75	50+50
Stabiliteetti, kN	$\geq 3,0$	$\geq 4,0$	$\geq 3,0$
Flow, mm	1-4,5	1,5-4,0	1,5-4,6
Stab./flow, kN/mm	>0,8	$\geq 1,1$	$\geq 0,8$
Tyhjätila til-%	2 - 8	2 - 4,5	1,5-4,5
Täyttöaste %	-	75-85	75-90
Kiviaineksen til-%	-	17-20	17-20
tyhjätila			
Bitumipitoisuus p-%	(n.4,5)	5,5 \pm 0,5	5,8 \pm 0,5

Yleisohjeet:

- kulutuserrosten suhteituksessa, käyrätyypin ja sideainepitoisuuden valinnassa tulee ottaa huomioon liikennemäärä, ilmasto ja kiviaineksen tiheys, raemuoto ja absorptiokyky. Kokemuksen tai laboratorioselvitysten perusteella päätetään ohjearvot
- kantavien kerrosten suhteituksessa määritetään bitumipitoisuus ja kiviaineksen rakeisuus Marshall-menetelmällä saatujen stabiliteettiarvojen perusteella.

RUOTSIN SUHTEITUSVAATIMUKSET

		AG 25	HAB 16t	MAB 16t	HAB 25t	MAB 25t
Stabiliteetti,	kN	-	-	-	-	-
Flow,	mm	-	-	-	-	-
Tyhjätila	til-%	5 - 9	1,0-4,0	1,5-4,5	1,0-4,0	1,5-4,5
Täyttöaste	%	-	-	-	-	-
Kiviaineksen tyhjätila	til-%	-	-	-	-	-
Bitumipitoisuus	p-%					
ohjearvo	B 85	-	6,4	-	5,8	-
"	B 180	4,2	-	6,0	-	5,4

Yleisohjeet:

- massa on suhteitettava niin, että se täyttää kullekin massatyypille asetetut vaatimukset bitumipitoisuuden seulakäyrän ja tyhjätilan suhteen; Marshall-suhteituslaboratoriossa (on tehtävä)
- kantavan kerroksen massa AG₂₅ suhteitetaan tekemällä koepäällystettä 100 - 200 m². Tyhjätilan on oltava välillä 5 - 9 til-% viiden näytteen keskiarvona ja yksittäisen arvon on oltava välillä 4 - 10 til-%
- sideainepitoisuus saa alittaa kullekin päällystetyypille annetun ohjearvon kokeintain 0,3 p-%-yksikköä.

EPÄJATKUVAN ASFALTTIBETONIN SUHTEITUSVAATIMUKSET

Englanti, TRRL Report LR 1065, 1983

(Marshall-suhteitus, 50+50 iskua)

Liikenne (cvld)	Stabiliteetti (kN)	Stab./flow (kN/mm)	Tyhjätila (til-%)
alle 2000	$\geq 2,5$	1,0-3,5	3 - 8
2000-4000	$\geq 4,5$	1,5-3,5	3 - 8
4000-6000	$\geq 5,5$	1,75-3,5	3 - 8
yli 6000	$\geq 6,5$	2,0-3,5	3 - 8

THE ASPHALT INSTITUTEN SUOSITTELEMAT SUHTEITUSVAATIMUKSET
(tavallinen asfalttibetoni, kulutus- ja kantavakerros)

		raskas liikenne	keskiraskas liikenne	kevyt liikenne
Tiivistys,	iskua	75+75	50+50	35+35
Stabiliteetti,	kN	$\geq 6,7$	$\geq 3,3$	$\geq 2,2$
Flow,	mm	2 - 4	2 - 4,5	2 - 5
Tyhjätila,	til-%	3 - 5	3 - 5	3 - 5
Kiviaineksen tyhjätila	til-%	(kuva)	(kuva)	(kuva)

ASFALTTIPAÄLLYSTEEN SUHTEITUS määritelmät ja laskentakaavat

1. KIVIAINEKSEN TIHEYYS

1.1 Tiheys ja ominaispaino

Tiheys on kappaleen massan suhde kappaleen tilavuuteen. Tiheyden SI-yksikkö on kg/m^3 . Yleisesti kuitenkin vielä käytetään yksiköitä g/dm^3 ja kg/dm^3 . Yksikköä kg/dm^3 käytetään tienrakennusalalla.

esim:

$$1 \text{ kg/m}^3 = 1 \text{ g/dm}^3$$

$$1 \text{ kg/dm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3 = 1000 \text{ g/dm}^3$$

$$\text{kiviaineksen tiheys } 2,650 \text{ kg/dm}^3 = 2650 \text{ kg/m}^3$$

Ominaispaino on kappaleen painon (ilmassa) suhde kappaleen tilavuuden suuruiseen vesimäärän painoon (ilmassa). Ominaispaino on laaduton luku ja sen lukuarvo riippuu määrittämissä lämpötilasta.

$$\text{tiheys} = \text{veden tiheys (määrittämissä lämpötilassa)} \times \text{ominaispaino}$$

esim 1:

$$\begin{aligned} \text{kiviaineksen ominaispaino (25°C)} &= 2,658 \\ \text{veden tiheys (25°C)} &= 997,0 \text{ kg/m}^3 \\ \text{kiviaineksen tiheys} &= 997,0 \text{ kg/m}^3 \times 2,658 = \\ &= 2650 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

esim 2:

$$\begin{aligned} \text{kiviaineksen tiheys} &= 2650 \text{ kg/m}^3 \\ \text{veden tiheys 10 °C:ssa} &= 999,1 \text{ kg/m}^3 \\ \text{kiviaineksen ominaispaino (10°C)} &= \\ &= \frac{2650 \text{ kg/m}^3}{999,1 \text{ kg/m}^3} = 2,652 \end{aligned}$$

HUOM!

Tiheyden ja ominaispainon sekoittaminen voi johtaa

merkitseviin virheisiin asfalttipäällysteen tilavuus-suhteita koskevissa laskuissa. Näin tapahtuu, kun laskukaavoissa käytetään samanaikaisesti tiheys- ja ominaispainoarvoja. Huomattava on, että tiemenetelmien TIE 235 (kohta 5.2) ja TIE 412 menetelmäohjeen mukaisesti menetellessä saadaan tulokseksi ominaispaino, vaikka menetelmäohje puhuu tiheydestä. Menetelmät TIE 235 (kohta 5.1) TIE 413 ja TIE 414 antavat tulokseksi tiheyden.

Asfalttipäällysteen suhteituslaskujen kaavoissa voidaan käyttää joko tiheys- tai ominaispainoarvoja.

esim: päällysteen tyhjätila V_i

$$V_i = 100 \times \frac{o_m - o_p}{o_m} =$$

o_m = massan ominaispaino
 o_p = päällysteen ominaispaino

$$100 \times \frac{o_m \times d_v - o_p \times d_v}{o_m \times d_v} =$$

d_v = veden tiheys
 d_m = massan tiheys
 d_p = päällysteen tiheys

$$100 \times \frac{d_m - d_p}{d_m}$$

Jos asfalttimassan ja päällysteen paino- ja tilavuusosuuksia lasketaan päättelemällä on käytettävä tiheysarvoja.

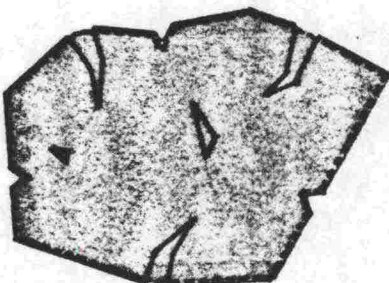
1.2

Suhteituksessa tarvittavat päällystekiviaineksen tiheysarvot

1.21 Päällystekiviaineksen raetiheys

korndensitet

bulk density



raetiheyteen liittyvä
kiviaineksen tilavuus

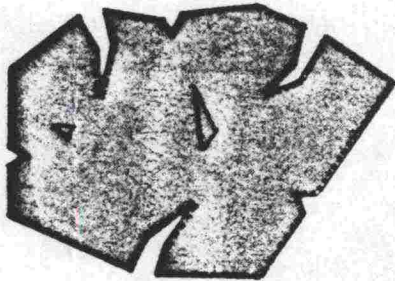
Kiviaineksen irtotiheys päällysteessä on kiviaineksen massan suhde rakeiden ulkopinnan rajoittamaan kiviaineksen tilavuuteen. Kivirakeiden halkeamat ja huokokset luetaan kuuluvaksi rakeiden tilavuuteen.

Raetiheys on lukuarvoltaan pienin suhteituksessa käytettävistä kiviaineksen tiheysarvoista.

1.22 Päällystekiviaineksen näennäistiheys

skenbar densitet

apparent density



näennäistiheyteen liittyvä
kiviaineksen tilavuus

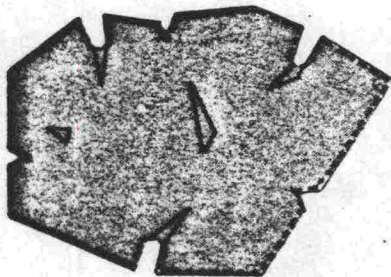
Näennäistiheys on kiviaineksen massan suhde kiviaineksen tilavuuteen, jossa ei ole mukana sellaiset halkeamat ja huokokset, joihin vesi pääsee tunkeutumaan.

Näennäistiheys on kiviaineksen todellisen kiintotiheyden likiarvo, koska osa huokosista on suljettuja ja vesi ei niihin pääse tunkeutumaan. Todellinen kiintotiheys voidaan määrittää vain jauhetusta kiviaineksesta. Kiintotiheys on lukuarvoltaan suurin kiviaineksen tiheysarvoista.

1.23 Päällystekiviaineksen toimintatiheys

effektiv densitet

effective density



toimintatiheyteen liittyvä
kiviaineksen tilavuus

Toimintatiheys on kiviaineksen massan suhde siihen kiviaineksen tilavuuteen, jossa ei ole mukana niitä halkeamia ja huokosia, joihin bitumi tunkeutuu.

Toimintatiheyden lukuarvo on irtotiheyden ja näennäistiheyden lukuarvojen välillä.

HUOM!

Päällystekiviaineksen irtotiheyttä ja toimintatiheyttä käytetään päällysteen tilavuussuhteiden laskemiseen. Yleensä suomalainen kiviaines on niin tiivis, että

$\text{raetiheys} \approx \text{näennäistiheys} \approx \text{toimintatiheys}$

Jos kiviaines sisältää huokoista kivilajia tai synteettistä kiviainesta tai rautateollisuuden kuonakiveä, joudutaan käyttämään eri tiheysarvoja, muutoin ovat tilavuuslaskut pielessä.

Päällystekiviaineksen raetiheyttä ei pidä sekoittaa kiviaineksen irtotiheyteen, jossa tilavuuteen luetaan

myös kivirakeiden väliin jäävä tyhjätila. Kiviaineksen irtotiheyttä käytetään kiviaineksen valmistuksessa ja toimituksissa, esim. muutettaessa soramurskekan tilavuus painoksi.³ Kiviaineksen irtotiheys on tavallisesti alle 2 kg/dm³, raetiheys tavallisesti yli 2,5 kg/dm³.

1.3 Kiviaineksen tiheyden määrittäminen (ASTM C 127, C 128)

Kiviaineksen tiheys määritetään punnitsemalla kiviainesnäyte ilmassa ja vedessä. Punnitustuloksista saadaan laskettua ominaispaino. Tiheys saadaan kertomalla ominaispaino veden tiheydellä, veden tiheys siinä lämpötilassa, jossa punnitus suoritetaan.

1.31 Punnitukset

Kiviainesnäyte punnitaan ilmassa kuivana ja ilmassa vedellä kyllästettynä sekä vedessä vedellä kyllästettynä (halkeamat ja huokoset veden täyttämiä).

1.32 Raetiheys d_{kr}

$$d_{kr} = \frac{A}{B - C} \times d_v$$

d_{kr} = raetiheys
 A = näytteen paino ilmassa kuivana
 B = näytteen paino ilmassa vedellä kyllästettynä
 C = näytteen paino vedessä vedellä kyllästettynä
 d_v = veden tiheys määrittämissä lämpötilassa

1.33 Näennäistiheys d_{kn}

$$d_{kn} = \frac{A}{A - C} \times d_v$$

d_{kn} = näennäistiheys
 A, B, C ja d_v kuten yllä

1.34 Toimintatiheys (efektiivinen tiheys) d_{ke}

Päällystekiviaineksen toimintatiheys lasketaan asfalttimassan tiheyden, bitumipitoisuuden ja bitumin tiheyden perusteella, katso kohta 3.6.

HUOM!

Yllä kohdassa 1.33 saatua tulosta kutsutaan tiemenetelmässä TIE 235 kiviaineksen kiintotiheydeksi. Tiemenetelmissä ei esitetä raetiheyden määrittäystä.

2. ASFALTTIMASSAN JA PÄÄLLYSTEEN TIHEYDEN MÄÄRITYS

2.1 Massan tiheys (ASTM D 2041)

Massan tiheys saadaan punnitsemalla massa ilmassa ja vedessä vedellä kyllästettynä. Tiheys saadaan kaavalla

$$d_m = \frac{A}{A - C} \times d_v$$

d_m = massan tiheys kg/dm³
 A = massan paino kuivana ilmassa
 C = massan paino vedessä vedellä kyllästettynä
 d_v = veden tiheys kg/dm³

HUOM!

Jotta massa ei jäisi ilmaa, imeytetään vesi massa vakuumin avulla. Liian kauan kestävä vakuumikäsittely irroittaa bitumin kiviaineksesta ja vesi pääsee imeytymään kiviainekseen. Jos kiviaines on vettä imevää, saadaan virheellinen massan tiheysarvo. Jo 0,25 p-% vesiabsorptio aiheuttaa noin 0,5 til-%-yksikön virheen tyhjätilaan. Kun vakuumikäsittelyssä bitumi irtoaa enemmän tai vähemmän kiviaineksesta, syntyy tuloksiin hajontaa. Vastaavasti syntyy virhettä, kun massan tiheys tehdään liuottamalla massa liuottimeen (TIE 414). Tällöin liuotin imeytyy kiviaineksen halkeamiin ja huokosiin.

Menetelmäohjeen ASTM D 2041 mukaan menetelmä ei sovellu tiivistetylle massalle, koska tiivistettyä massaa ei saada niin hajotettua, että ilma poistuisi kohtuullisella vakuumikäsittelyllä.

Suomessa on omaksuttu käytäntö, jossa suhteituskoekappaleet lämmitetään ja hajotetaan massan tiheyden määrittämistä varten. Ei ole selvitetty, miten paljon omaksuttu käytäntö aiheuttaa tarpeetonta hajontaa ja virhettä massan tiheysmäärityksiin. Voitaneen olettaa, että virhe on merkityksetön, kun kiviaines on tiivistä ja päällystekappaleiden hajottaminen tapahtuu huolellisesti.

Kun massan bitumipitoisuus tiedetään tarkasti, voidaan massan tiheys laskea kiviaineksen ja bitumin tiheyden avulla seuraavalla kaavalla

$$d_m = \frac{100}{\frac{100 - P_b}{d_{kr}} + \frac{P_b}{d_b}}$$

P_b = bitumin määrä p-%
 d_{kr} = kiviaineksen raetiheys kg/dm³
 d_b = bitumin tiheys kg/dm³

2.2 Päällysteen tiheys

Päällystenäytteillä (Marshall-koekappaleet tai poranäytteet), joiden tyhjätila on alle 10 til-%, määritetään tyhjätila punnitsemalla näyte ilmassa ja vedessä.

Näytteillä, joiden tyhjätila on 10 til-% tai suurempi, määritetään tilavuus mittaamalla koekappaleen koko.

2.21 Parafinoidut koekappaleet (ASTM D 1188)

Menetelmä on selostettu tiemenetelmässä TIE 412.

2.22 Vedellä imeytetyt, pintakuivat koekappaleet (ASTM D 2726)

Päällysteen tiheys saadaan kaavalla

$$d_m = \frac{A}{B - C} \times d_v$$

A = kuivan koekappaleen paino ilmassa
B = vedellä imeytetyn pintakuivan koekappaleen paino ilmassa
C = vedellä imeytetyn koekappaleen paino ilmassa
 d_v = veden tiheys

HUOM!

Kohdassa 2.22 esitetty menetelmä ei ole usein käytetty tapa punnita koekappale ilmassa ja vedessä (TIE 412, kohta 5.3). Tällä menettelyllä saadaan aina, vaikka koekappale olisi tiivis, tyhjätilatasosta riippuva virhe, jonka suuruus lisäksi vaihtelee epämääräisesti. Kun tyhjätilataso on alle 2 til-%, on virhe tavallisesti vielä siedettävä, mutta lisää tulosten hajontaa.

Menetelmä ASTM D 2726 hyvin käyttökelpoinen, koska siinä ei tarvitse parafinoida koekappaleita. Veden imeyttäminen tapahtuu antamalla koekappaleiden olla muutama minuutti vedessä, vakuumia ei tarvita. Koekappaleiden pinta kuivataan ennen punnitusta pyyheliinalla. Menetelmä sopii hyvin kenttälaboratorioihin.

2.23 Koekappaleet, joiden tyhjätila on 10 til-% tai sitä suurempi (ASTM D 2726)

Koekappaleet punnitaan kuivana ilmassa. Tilavuus saadaan mittaamalla koekappaleen ulottuvuudet. Sylinterimäisen koekappaleen korkeus mitataan kahdesta kohtaa ja kalkaisija kolmesta kohtaa.

3. ASFALTTIMASSAN KOOSTUMUKSEN LASKEMISESSA TARVITTAVAT LASKENTAKAAVAT

3.1 Kiviainesseoksen tiheys d_k k

$$d_k = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{d_1} + \frac{P_2}{d_2} + \dots + \frac{P_n}{d_n}} \times d_v$$

d_k = seoksen tiheys kg/dm^3

P_1, P_2, P_n = jakeiden
osuudet p-%

d_1, d_2, d_n = jakeiden ti-
heydet kg/dm^3

d_v = veden tiheys kg/dm^3

HUOM!

Täytejauheen irto-ominaispainoaja -tiheyttä ei voida luotettavasti määrittää. Kiviainesseoksen irto-ominaispainoa laskettaessa voidaan käyttää täytejauheen kiinto-ominaispainon arvoa. Tästä aiheutuva virhe on merkityksetön.

3.2 Kiviaineksen tyhjätila KAT

$$KAT = 100 - \frac{d_p}{d_{kr}} \times P_k$$

KAT = kiviaineksen tyh-
jätila til-%

d_p = päällysteen kg/dm^3
tiheys kg/dm^3

d_{kr} = kiviaineksen kg/dm^3
rae-
tiheys kg/dm^3

P_k = kiviaineksen määrä
p-% päällysteessä

HUOM!

Kiviaineksen tyhjätila käsittää kiviainesrakeiden väleihin jäävän tilan. Siihen ei lueta rakeiden halkeamia ja huokosia, ei niitäkään, joihin bitumi tunkeutuu. Kiviaineksen tyhjätila on siten = päällysteen tyhjätila + efektiivisen bitumin tilavuus.

3.3 Bitumin tilavuusosuus päällysteessä V_b

$$V_b = \frac{d_p}{d_b} \times P_b$$

V_b = bitumin määrä til-%
 d_p = päällysteen tiheys kg/dm^3
 d_b = bitumin tiheys kg/dm^3
 P_b = bitumin määrä p-% päällysteessä

3.4 Täyttöaste TT

$$TT = 100 \times \frac{V_b}{KAT}$$

TT = täyttöaste %
 V_b = bitumin tilavuusosuus til-%
 KAT = kiviaineksen tyhjätila til-%

3.5 Päällysteen tyhjätila V_i

$$V_i = 100 \times \frac{d_m - d_p}{d_m}$$

V_i = päällysteen tyhjätila til-%
 d_m = massan tiheys kg/dm^3
 d_p = päällysteen tiheys kg/dm^3

JOS BITUMIA IMEYTYY MERKITSEVÄSTI KIVIAINEKSEEN, ON TÄMÄ OTETTAVA HUOMIOON PÄÄLLYSTEEN TILAVUUSSUHTEITA LASKETTAESSA. TÄLLÄISESSÄ TAPAUKSESSA LASKETAAN ENSIKSI KIVIAINEKSEN TOIMINTATIHEYS, JONKA AVULLA VOIDAAN EDELLEEN LASKEA KIVIAINEKSEEN IMEYTYNYT BITUMIMÄÄRÄ. PÄÄLLYSTEESSÄ SIDEAINEENA TOIMIVA BITUMIMÄÄRÄ ON LISÄTTY MÄÄRÄ - KIVIAINEKSEEN IMEYTYNYT MÄÄRÄ. TOIMIVAA BITUMIPITOISUUTTA KÄYTETÄÄN PÄÄLLYSTEEN TYHJÄTILAN JA TÄYTTÖASTEEN LASKEMISEEN. TARVITTAVAT LASKENTAKAAVAT ON ESITETTY KOHDISSA 3.6 - 3.10.

3.6 Kiviaineksen toimintatiheys (efektiivinen tiheys)

$$d_{ke} = \frac{100 - P_b}{\frac{100}{d_m} - \frac{P_b}{d_b}}$$

P_b = bitumin määrä p-% päällysteessä
 d_m = asfalttimassan tiheys
 d_b = bitumin tiheys

3.7 Kiviainekseen imeytyvä bitumimäärä P_{ba}

$$P_{ba} = 100 \times \frac{d_{ke} - d_{kk}}{d_{ke} \times d_{kk}} \times d_b$$

P_{ba} = imeytynyt bitumimäärä p-% kiviaineksen määrästä
 d_{ke} = kiviaineksen toimintatiheys
 d_{ki} = päällystekiviaineksen irtotiheys
 d_b = bitumin tiheys

3.8 Toimiva bitumipitoisuus (efektiivinen bitumipitoisuus) P_{be}

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba}}{100} \times P_k$$

P_{be} = toimiva bitumipitoisuus p-% asfalttimassan määrästä
 P_b = bitumipitoisuus p-% asfalttimassasta (lisätty bitumimäärä)
 P_{ba} = imeytynyt bitumimäärä p-%
 P_k = kiviaineksen määrä p-%

3.9 Toimivan bitumin tilavuusosuus päällysteessä V_{be}

$$V_{be} = \frac{d_p}{d_b} \times P_{be}$$

V_{be} = toimivan bitumin määrä til-% päällysteessä
 d_p = päällysteen tiheys
 d_b = bitumin tiheys
 P_{be} = toimiva bitumipitoisuus p-%

3.10

Toimivan bitumin täyttöaste TT_e

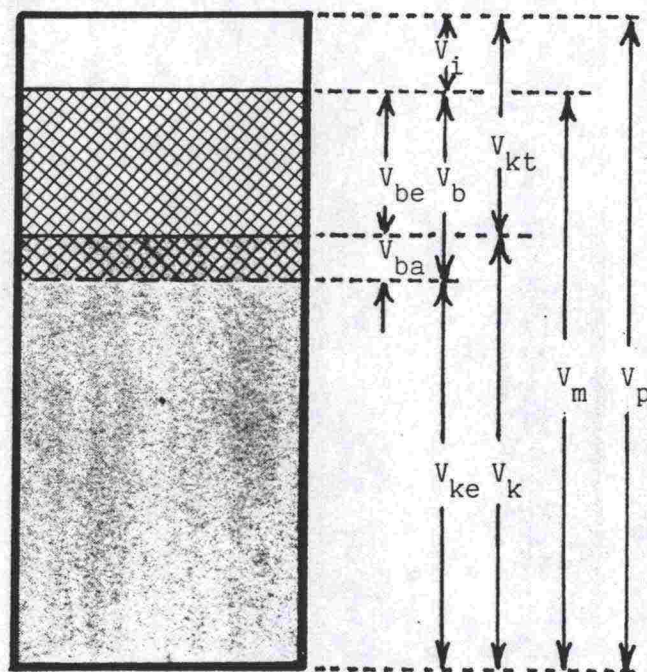
$$TT_e = 100 \times \frac{V_{be}}{KAT}$$

TT_e = toimivan bitumin täyttöaste %

V_{be} = toimivan bitumin tilavuusosuus
päällysteessä til-%

KAT = kiviaineksen tyhjätila til-%

PÄÄLLYSTEEN KOOSTUMUS TILAVUUSOSINA



V_p = päällysteen tilavuus

V_m = massan tilavuus

V_k = kiviaineksen tilavuus

V_{kt} = kiviaineksen tyhjätila

V_i = päällysteen tyhjätila

V_b = bitumin tilavuus

V_{ke} = efektiivisen kiviaineksen tilavuus

V_{be} = efektiivisen bitumin tilavuus

V_{ba} = kiviainekseen imeytyneen kiviaineksen tilavuus